



# **El programa de investigación algodonero del IPA para la Costa Central Peruana y Piura.**

## **CONTRATO DE COOPERACION IPA- CIRAD-CA.**

**- Informe de la tercera visita 2000 -**

29 Mayo- 4 Junio 2000

**BELOT Jean- Louis  
Cirad-Ca**



**INSTITUTO PERUANO DEL ALGODON**

## **El programa de investigación algodonero del IPA para la Costa Central Peruana y Piura.**

**CONTRATO DE COOPERACION IPA- CIRAD-CA.**

**- Informe de la tercera visita 2000 -**

Lima, 29 Mayo-4 Junio 2000

---

**BELOT Jean- Louis  
Cirad-Ca**

## PROGRAMA DE LA VISITA

La totalidad de la visita se realizo en presencia del Dr. Juan Lazo, coordinador del programa de investigación del IPA.

### **Lunes 29 de mayo**

12:15 Llegada en Lima de J-Louis Belot/ Cirad-Ca

14:00 Almuerzo y reunión con el Presidente del IPA, Ing. Raúl Gerbolini, y el empresario Sr. Jaime Miranda.

### **Martes 30 de mayo**

08:00 Reunión de trabajo con el Dr. Lazo, en la oficina del IPA

17h00 Reunión del "Comité de Investigación" del IPA, en la oficina de Romero Trading.

### **Miércoles 31 de mayo**

08:00 Visita del Dr. Abel Basurto, Coordinador del Programa Tangüis de la UNA

11h30 Visita a la ASPA/ Dr. Luis Ortiz

13h00 Trabajo en el Hotel Miraflores

23h00 Viaje Lima- Trujillo de   mnibus

### **Jueves 1 de junio**

06:30 Llegada en Trujillo

08:30 Visita del fondo CEPER en Chavimochic.

12:30 Viaje Trujillo- Chiclayo en   mnibus, Chiclayo-Piura por avión.

### **Viernes 2 de junio**

08:30 Visita de los ensayos Pima de Romero Trading y de la UNP de Piura con el Dr. Nieves.

15:30 Piura-Lima

18:30 Reunión con el Presidente del IPA y el Dr. Lazo en el Hotel Miraflores.

### **Sábado 3 de junio**

08h00 Trabajo sobre el informe de visita en el Hotel Miraflores

14h:00 Reunión de trabajo con el Dr. Lazo

### **Domingo 4 de junio**

12h20 Salida de Lima de J-Louis Belot para São Paulo y Brasilia-DF

## Introducción

En el marco del convenio entre el IPA y el Cirad para el año 2000, se realizó entre los días 20/05 y 4/06/ 2000, la tercera de las 4 visitas de supervisión del programa de investigación algodón del IPA (Programa de visita en anexo).

El objetivo del convenio es la supervisión del programa de investigación conducido por el IPA. Conforme instrucciones recibidas por el Directorio de esta Institución, la prioridad de los esfuerzos tiene que ser orientada principalmente para la zona de la Costa central, región tradicional del algodón Tangüis. En esta tercera visita, nos fue posible visitar zonas nuevas : Trujillo/ Perímetro de riego de Chavimochic y la zona algodonera de Piura a fin de estudiar las posibilidades para el IPA desarrollar actividades nuevas para estos perímetros.

Agradezco al IPA y en especial al Ing. Gerbolini, Presidente, y su Coordinador de Investigación, el Dr. Juan Lazo, por la disponibilidad y la excelente organización de esta visita.

# Localización de las zonas visitadas:



## **1. El perímetro de riego de Chavimochic/ Trujillo**

El IPA fue contactado por un empresario (Sr. Miranda) que tiene una inversión agrícola en el perímetro de riego de Chavimochic. Entonces, visitamos el Fondo CEPER, actualmente dedicado a la producción de espárrago.

Hasta el año pasado, el cultivo del espárrago era uno de los cultivos mas rentables para los valles centrales de la costa central, a tal punto que muchos agricultores antiguamente “algodoneros” se dedicaron a este rubro.

Lastimosamente, con el mejoramiento del cultivo del espárrago en China, la rentabilidad de este cultivo se encuentra muy afectada. Varios fondos de tecnología mediana para alta están procurando alternativas. La situación es todavía mas critica para aquellos que realizaran inversiones altísimas en sistemas de irrigación por goteo. Es el caso de algunos perímetro como el de Chavimochic.

### **1-1 El perimetro de riego de Chavimochic y el Fondo CEPER.**

Localizado al sur de Trujillo, se beneficia del agua del río Santa, gracias a la inversión millonaria del Estado en un canal artificial. Según informaciones providenciadas, el potencial de riego sería de 46.000has, siendo actualmente solamente 4.000 has usadas.

El caso del fondo CEPER parece representativo del perímetro de Chavimochic: 1000has de superficie total, con 220 has actualmente cultivadas, con espárrago (210has) principalmente.

**Suelos:** arena pura, sin ninguna fertilidad. Después de un subsolado profundo (a fin de quebrar una capa de arena muy compactada a partir de los 30cm de profundidad), buena permeabilidad de estos suelos.

**Tipo de riego:** por goteo, con equipo altamente tecnificado importado de Israel.

**Cuadro de técnicos:** bien calificado (4 Ingenieros) , con mucha experiencia y aparentemente buen dominio de este sistema de riego.

A priori, CEPER esta dispuesto a iniciar el cultivo de hasta 5 hectáreas de algodón.  
Visitamos el área prevista para los experimentos

### **1-2 Propuestas de trabajo en el Fondo CEPER:**

Nos parece que es el cuadro ideal para que el IPA inicie trabajos con una tecnología de riego diferente de aquella comúnmente usada en los valles de la costa central. En el contexto actual de una tremenda disminución de la rentabilidad del cultivo del espárrago, y en la búsqueda de alternativas rentables, esta oportunidad es muy valiosa para el IPA.

Nuestra propuesta es de ensayar una amplia gama de especies y variedades de algodón, acompañando estos trabajos con algunas pruebas de manejo agronómico a fin de tener, ya después del primer año de experimentación indicaciones sobre la viabilidad del algodón como sustituto del espárrago en este perímetro.



**El perímetro de riego de Chavimochic/ Trujillo – El Fundo CEPER**



Fig.1: Perímetro de Chavimochic



Fig.2: El canal principal



Fig.3: Entrada de agua del Fundo CEPER



Fig. 4: Tanque para la descarga de los aluviones del agua



Fig. 5: Estación de filtro y regulador de presión antes de las líneas de tuberías



Fig.6: Tanques para adicionar fertilizantes



Fig. 7: Utilización de Guano en las parcelas para el aumento de M.O.



Fig.8: Parcela de espárrago.

## El perímetro de riego de Chavimochic/ Trujillo – El Fundo CEPER



Fig. 9 : Parcelas del Fundo CEPER para los experimentos de algodón



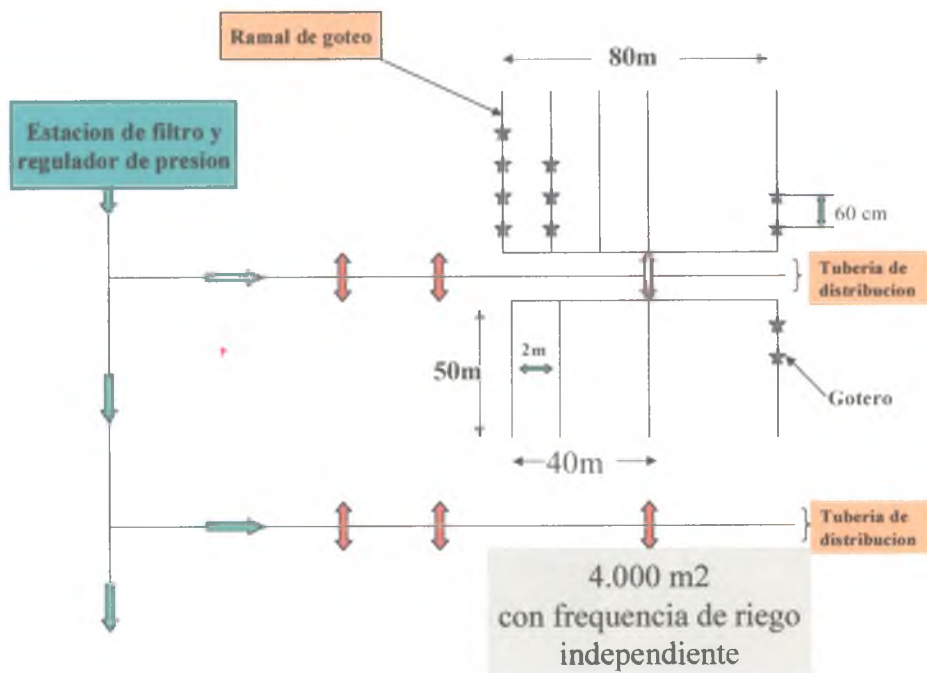
Fig 10: Tubería de distribución y ramal de goteo

En función de la cantidad de semilla disponible, sería interesante conducir los ensayos:

- 1- Tangüis
- 2- G. barbadense importados y híbridos Hazera
- 3- G. hirsutum

Debido a la disposición de las mangueras de goteo, es posible regar independientemente lotes de 4000m<sup>2</sup>. A priori, entre los ensayos comparativos de cultivares y los ensayos “agronómicos”, se necesitaría de 4 lotes de 4000m<sup>2</sup>, sea 1.6has.

Disposición de las mangueras de goteo:



Protocolos de trabajo detallados serán proporcionados a CEPER, con indicaciones muy precisas de los niveles y momentos de aporte de los fertilizantes (en anexo 4, algunas consideraciones sobre el momento del aporte de los fertilizantes), con esfuerzo especial para recomendar fertilizantes de menor costo. Será importante definir junto con el Sr. Miranda cual técnico será responsable para el seguimiento de estos trabajos, y de todas las observaciones a ser realizadas en el transcurso del cultivo. Las propuestas son detalladas en el párrafo 4.

Pero, antes de cualquier trabajo, será indispensable :

- 1- tener acceso a los datos de temperatura de los últimos años
- 2- entrar en contacto con agrónomos del valle de Trujillo a fin de conocer los antecedentes y la problemática de las migraciones del "arrebatiado" (Dysdercus spp.) en el valle de Trujillo.

Estos dos elementos son de suma importancia para definir una fecha de siembra mas adecuada.

## 2. La zona Pima de Piura

### 2-1 El " Pima Peruano" de la zona de Piura:

El algodón Pima peruano es cultivado en la zona de riego de Piura. En la campaña agrícola 1999/2000, el área total fue de 24.000has, de las cuales 16.000has en el bajo Piura. La productividad media es de 1.600kg/ha de algodón rama, pero con gran variabilidad (800 a 3.000Kg/ha). Fibra de alta calidad, longitud hasta 1.5/8'', resistencia superior a 32 g/tex. Fibra de alto valor, comprada al rededor de 96US\$/ QQ fibra.

El cultivo es realizado tradicionalmente con 4 riegos (Una Poza, seguida a 40-50 días por el primero riego). El perímetro de riego de Piura parece presentar problemas de drenaje. Según comentarios, 3.000has son afectados por problemas de "marchitez" (  Fusariosis ?).

Actualmente, cerca de 65% del área es cultivado con variedades de Fundeal de ciclo 7-8 meses, el restante con variedades Pima AG (de Romero Trading) y Pima UNP (de la Universidad Nacional de Piura).

### 2-2 Visita del ensayo Pima y de un campo de multiplicación de Romero Trading, y también de unos campos de productores de una zona de riego muy cercana de Piura.

La empresa Romero Trading cuenta con el asesoramiento técnico del Ing. Raul Nieves, Profesor de UNP. Esta visita fue realizada en la presencia del Gerente de Romero Trading en Piura, Sr. Pedro Arrivas, de los Dr. Nieves, Dr. Lazo y de otros profesionales.

El ensayo de cultivares de Romero Trading compara las variedades siguientes:

1 Pima Conquistador	USA	G. barbadense
2 Pima S7	USA	"
3 Deltapine DPX-9051-1883	USA	G. hirsutum
4 Pima Deltapine 4444	Delta Pine	G. barbadense
5 Pima UNP-1	UNP	"
6 Pima HRC-4	UNP	"
7 Pima H8	UNP	"
8 Del Cerro Short Branch	UNP	G. hirsutum
9 Pima AG-N90	Romero Trading	"
10 Pima Fundeal5	Fundeal	"

Implantado en el Predio Bertha/ ex. Cap. Juan Velasco Gallo del bajo Piura. Dispositivo de Bloques al azar, 10 tratamientos, 4 repeticiones, parcelas de 4 surcos de 10 metros de largo, 1,20m entre surcos. El ensayo recibí 4 riegos.

Gran variabilidad de ciclo de los cultivares comparados y probablemente de exigencia en agua. De los materiales de la UNP, algunos fueron seleccionados para obtener plantas mas chicas, de ciclo mas determinado. El Pima H-8 merece atención. Material generalmente mas sano en relación a fusariosis y alternariosis.



La variedad de Fundeal es muy vegetativa, alta, de ciclo muy poco determinado.



Figura 11: El ensayo "Pima" de Romero Trading.



Fig. 12: Variedad Pima Peruana tradicional



Fig. 13: Pima HRC-4



Fig. 14: Pima Peruano más determinado



Fig. 15: Pima HRC-4: desarrollo del broto axilliar y prod. de 2 frutos por nudo.

Notamos fuerte incidencia de enfermedades en el ensayo (fusariosis, con marchitamiento y muerte de plantas, y también alta defoliación de algunos cultivares por alternariosis). Según información recibida, la incidencia de fusariosis es relativamente alta en los cultivos del medio/bajo Piura. De lo observado en este ensayo, los Pima importados (Pima S7, Conquistador, Deltapine4444) presentan alta susceptibilidad a la fusariosis y a la alternariosis (confirmando los resultados de los valles centrales).



Fig. 16: Fusariosis en Pima Peruano



Fig. 17: Alternariosis en los Pima Americanos

Observamos en la variedad *G. hirsutum* “Del Cerro Short Branch” creada pelo Dr. Nieves algunos síntomas de enrojecimiento de las hojas muy semejantes con los síntomas de la virosis “Vermelhão” descrita en Brasil.



Fig.18: Síntomas observados en las hojas de la variedad “Del Cerro Short Branch.”

Recibimos comentario sobre otro problema del cultivo del Pima: “**el amarillamiento**”. Se nota un amarillamiento de las hojas tiernas (diferente del amarillamiento de senescencia) generalmente después del riego. Según comentario del Dr. Nieves, sería la consecuencia de una subida de los carbonatos en los suelos, provocando el bloqueo del fierro. Sería la consecuencia de la deficiencia del sistema de drenaje del perímetro de riego de Piura, en un periodo de largo plazo. Si esto se confirma, podría tener graves consecuencias para el futuro del cultivo del Pima Peruano.





Figures 18 y 19: Ejemplos de síntomas de “amarillamiento” en los cultivos de Piura

### 2-3 Visita de los campos experimentales de la UNP, en el campus universitario.

El Dr. Raúl Nieves nos hizo visitar sus trabajos conducidos en la UNP:

- Colección muy amplia de genotipo Pima peruanos (más de 600 accesiones autofecundadas)
- Campos de selección conservatriz de los cultivares Pima H8 y Pima HRC4, con 60 surcos cada uno. Autofecundación y selección de plantas. El núcleo genético de cada material es el resultado de la mezcla de las 60 linajes.
- Material en segregación y selección, con fondo genético Pima, pero también vimos algunos materiales de tipo “Tangüis”. Se trata de la descendencia de un cruzamiento realizado entre los años 1985 y 87 entre una linaje Tangüis L45 (con alto rendimiento al desmote) y una linaje Pima Peruana PP2DS-85 con doble simposio. Plantas de ciclo mucho más determinado, de arquitectura baja.
- Un ensayo comparativo de cultivares y linajes avanzados Pima de la UNA, pero conducido en una parcela de baja fertilidad. Ensayo relativamente heterogéneo.

### 2-4 Comentarios y primeras recomendaciones sobre la zona de Piura:

a/ La zona de producción del Pima peruano no cuenta en la actualidad con una red de evaluación de cultivares bien desarrollada. Las 3 instituciones criadoras de cultivares Pima (Romero Trading, Fundeal, UNP) conducen cada un pocos ensayos, sin coordinación de los esfuerzos debido a la situación de competencia comercial entre ellas.

En el caso de Romero Trading, uno solo ensayo es realizado, en el bajo Piura desde la campaña agrícola 1999. El ensayo parece ser conducido adecuadamente. Pero como lo escribimos en nuestro primer informe de visita, sería recomendable hacer ensayos comparativos de cultivares por grupo de precocidad/ determinación de ciclo. Los resultados tecnológicos del ensayo de 1999 nos fueron comunicados, pero lastimosamente no tuvimos acceso a los resultados agronómicos.

b/ La zona del bajo Piura visitada parece muy afectada por problemas de “marchitez” (fusariosis). De nuestro punto de vista, un levantamiento preciso de la incidencia de este hongo (¿o de otros?- Que tal también de los nematodos?) en la zona algodonera de Piura y un estudio de las diferentes razas presentes sería un pre requisito antes de cualquier trabajo visando una recomendación varietal en esta zona

Es notable que el año pasado, el Pima S7 tuvo muy buen comportamiento en Piura, sin presentar enfermedad, pero en el ensayo de este año, el presenta fuerte susceptibilidad a fusariosis y alternariosis, lo que ilustra muy bien la necesidad de testar los nuevos cultivares varios años siguientes.

c/ El caso del "amarillamiento" nos parece preocupante: según comentarios, técnicos de la UN Piura hablan de bloqueo de hierro debido a la subida del tenor en carbonatos del suelo. A priori, puedo concordar con una parte de esta interpretación sabiendo que altos contenidos en carbonatos pueden inducir deficiencias en microelementos. Pero yo no concorde con un bloqueo de hierro, que tiene síntomas foliares normalmente bien diferentes del "amarillamiento" observado en Piura.

Para mí, la primera etapa para la determinación de la causa del disturbio seria de realizar análisis de suelos:

\* Elegir 2 parcelas a donde fueron observados síntomas de "amarillamiento" en la zona de Piura.

\* Para cada parcela, realizar un muestreo de suelo en dos puntos distintos de la parcela (según la metodología vigente para la extracción de muestras de suelo para análisis), a 3 profundidades diferentes (a/ 0-10 cm; b/ 10-20cm; c/ 20-40cm : TOTAL de muestras: 2 localidades x 2 puntos x 3 profundidades= 12 muestras ).

\* Hacer análisis de:

- Conductividad Eléctrica (millimhos/ cm<sup>2</sup>)
- pH
- Carbonato Ca, Sales solubles
- Intercambiables (Ca, Mg, Na, K) en Meq/100
- CIC, % saturación
- Micro elementos (Fe, Zn, Mn, Cu, B)

A partir de estas primeras análisis, podremos tener una idea sobre la validez de la interpretación del disturbio, y eventualmente programar algunos experimentos para la campaña próxima, por ejemplo ensayos con complementos de fertilizantes foliares a fin de determinar cual elemento falta en la alimentación de la planta.

d/ De esta visita, nos parece muy importante que el IPA, en el caso que el toma la decisión de trabajar en la zona de Piura sobre la evaluación de las variedades de algodón Pima, guarde su independencia de los dos grupos comerciales que se dividen actualmente el mercado de semilla a fin de poder dar un parecer imparcial y con bases únicamente técnicas sobre los cultivares en competición.

e/ Del punto de vista de la creación de cultivares nuevos, recomendamos que el IPA firme un acuerdo con el programa del UNP a fin de poder beneficiar del material resultante de la cruce entre Tangüis y Pima. Seria una opción para adelantar resultados para la creación y identificación de una variedad Tangüis de ciclo mas determinado.

### **3. Primeros resultados de la campaña 1999/ 2000 del programa Tangüis**

El Dr Lazo nos comunicó los resultados preliminares de la red de ensayos conducidos en la Costa Central Peruana (zona del Tangüis): resultados de precocidad, fenología, rendimiento y fitosanidad.

Comentaremos los comportamientos varietales después de tener los resultados definitivos (Ultimo informe de visita del convenio IPA/ Cirad-ca).

3-1 Interrogación sobre la **utilización de las unidades de calor** para describir el desarrollo fenológico de los cultivares en los valles centrales:

Las unidades de calor son muy usadas en los Estados Unidos para determinar los diferentes estados fenológicos de desarrollo de una planta de algodón. Esta escala fue elaborada para



permitir tener criterios más objetivos que las unidades “Días” (relación entre la temperatura y el desarrollo de una planta).

En el caso de los valles de la costa central Peruana, hay un problema relacionado a las oscilaciones de temperatura diurnas y nocturnas, muy diferente de un valle a otro. El valle del ICA por ejemplo presenta oscilaciones muy elevadas, a veces superiores a 15°C dentro de un mismo día, y temperaturas medianas ( $\text{Temp.med} = (T_{\min} + T_{\max}) / 2$ ) superiores a aquellas de los valles de Chíncha y Cañete.

Trabajando sobre los valores de temperatura obtenidos por el IPA, y las medias de los ensayos Tangüis ( 5 linajes Tangüis de P1-1) y barbadense (3 Pima americanos P1-2), los valores de suma de temperatura para los diversos estadios fenológicos son aproximadamente los siguientes:

	local	Fecha siembra	Días (D.A.Siembra)			Unidades de calor (Base 12,8°)		
			I.Flor.	I. Deh.	C.T	I.Flor.	I. Deh.	C.T
Variedades Pima	ICA	30/06/99	109	178.7	214.3	651.2	1278.4	1696.5
	Cañete	30/09/99	88.9	161	194.4	613.5	1414.9	1762.0
	Chíncha	7/10/99	83.3	149.8	187.7	599.0	1194.7	1580.9
Linajes Tangüis	ICA	30/06/99	133	202	238.5	851.5	1548.6	2012.7
	Cañete	15/09/99	106.8	177.3	217.12	704.2	1483.8	1895.2
	Chíncha	06/09/99	98.1	162.5	208.6	603.0	1271.4	1752.8

En la teoría, las unidades de calor deberían permitir la expresión de los diversos estadios fenológicos relativamente independientemente de las localidades. Esto no aparece en el cuadro anterior, cada valle tiene sus particularidades y la escala GD no traiga informaciones más sintética que la escala Días.

Es claro que los valores presentados en el cuadro no son totalmente exactos porque teníamos acceso solamente a los datos de temperatura promedio del mes. También, hay muchos factores que podrían incidir sobre las diferencias de duración para los mismos genotipo en localidades diferentes: criterios para la definición de los estadios fenológicos (principalmente para el final del ciclo), nivel de la base para el cálculo de las unidades de calor, metodología para el cálculo de la unidad de calor, sin hablar de los factores que inter- accionan con la fisiología de la planta (luminosidad, alimentación en agua etc...).

Algunos elementos bibliográficos sobre este tema son presentados en anexo 3.

Por ahora, recomendamos de seguir trabajando con los días para la descripción de los estadios fenológicos de los cultivares, hasta definir mejor la metodología adecuada para la utilización de las unidades de calor en esta zona aldonera.

### 3-2 Análisis conjunta de los ensayos Tangüis (P1-1):

Durante la campaña agrícola 98/99, ensayo conducido en ICA, Chíncha y La Molina, comparando los linajes: LMG-1-72, ICA-161-74; CH-H-23-90; UNA-1 y el híbrido H-1512.

En esta campaña 2000, el ensayo P1-1 fue conducido en ICA, Chíncha y Cañete, comparando los linajes: UNA-1, CN-CPR-208-84, LMG-1-72; CH-H-23-90; ICA-161-74.

Entonces, será posible hacer una análisis multilocal y plurianual (2 años) de los 4 linajes Tangüis LMG-1-72, ICA-161-74; CH-H-23-90; UNA-1

### 3-3 Análisis conjunta de los ensayos G. barbadense (P1-2):

Durante la campaña agrícola 98/99, ensayo conducido en ICA, Chíncha y La Molina, comparando los híbridos y variedades: H-1512, MAXXA; Phytogene 57; UNA-96-13; Del Cerro P.; Phytogene 33; H-362; Pima S7.

En esta campaña 2000, el ensayo P1-2 fue conducido en ICA, Chíncha y Cañete, comparando los híbridos y variedades: Pima S7; Phytogene 57; Conquistador; UNA-96-13; H-1512; H-362.

Entonces, será posible hacer un análisis multilocal y plurianual (2 años) de los híbridos y cultivares: H-1512; H-362; Pima S7; Phytogene 57; UNA-96-13.

## 4. Primeros delineamientos para la campaña 2000/ 2001.

Participamos de la reunión del “Comité de Investigación” del IPA, y el viernes nos reunimos otra vez con el Sr. Presidente del IPA, Ing. Raúl Gerbolini. De estas conversaciones, varios puntos se destacan:

En relación a la programación de los trabajos científicos a ser conducidos en la próxima campaña 2000/ 2001, varias alternativas serán propuestas al directorio del IPA.

Reconducción de los ensayos Tangüis y G. barbadense importadas, pero acrecentando un ensayo para determinar el comportamiento en relación a la disminución en alimentación de agua.

### El problema de los ensayos “hirsutum”:

El IPA tiene que determinar sobre el tema de las variedades hirsutum para los valles centrales de la costa pacífica.

**Primer punto:** ¿que tipo de fibra producir? - ¿La fibra de los hirsutum puede responder a estos requerimientos?.

**Segundo punto:** ¿los requerimientos en calor de estas variedades hirsutum son compatibles con aquellos de los valles centrales?.

En el caso de querer seguir testar variedades hirsutum, es probable que el pool genético tiene que ser ampliado, introduciendo material con resistencia genética a fusariosis verticiliosis y nemátodos.

Por ejemplo, en el tipo “Upland”, diversas variedades comerciales de origen argentina o brasileña presentan tal características (INTA Porã, IAC20, IAC22, IAPAR71, CD95-621). En el tipo “Acala”, la literatura cita la variedad americana NemX como una opción interesante.

A priori, nos parece más adecuado conducir solamente el ensayo G. hirsutum en Trujillo/ Chavimochic y en la selva.

Conducir también los ensayos Tangüis y G. barbadense en Trujillo/ Chavimochic.

Contemplar la posibilidades de conducir en el futuro ensayos en las partes altas de los valles.

Contemplar la posibilidad de conducir un estudio de levantamiento muy detallado del balance técnico económico del cultivo de un Tangüis, de un híbrido, y en el futuro de un Pima importado.

Cada propuesta tiene su limitación en la cantidad de semilla disponible. A fin de se librar de esta limitación, recomendamos la programación de parcelas aisladas de multiplicación de los cultivares presentes en los ensayos.

A este respecto, presentamos en anexo 1 y 2 algunas consideraciones sobre el esquema de multiplicación y las normas de aislamiento entre campos de producción de semilla.

4-1 Los ensayos comparativos de cultivares y los ensayos agronómicos de la costa central, en el sur de Lima.

La reconducción de estos dos ensayos es indispensable

Tipo Ensayo	Variedad	Obtendor	Tipo varietal	Especie	Local Ensayo
Ensayo 1	LMG1-72	Suc. L. Massaro- Chinchá	Tangüis	G.barbadense	Chinchá
	ICA-161-74	Asoc. Agric. De Ica- ICA	Tangüis	G.barbadense	Cañete
	UNA-1	Univ. Nac. Agraria- Lima	Tangüis	G.barbadense	Ica
	CN-CPR-208-84	Asoc. Agric. Cañete- Cañete	Tangüis	G.barbadense	
	CH-H-23-90	Fonagro- Chinchá	Tangüis	G.barbadense	Partes altas de los valles?
Ensayo 2	Pima-S-7	Arizona-USA	Supima	G.barbadense	Chinchá
	Phytogene-57	California-USA	Supima	G.barbadense	Cañete
	Conquistador	California-USA	Supima	G.barbadense	Ica
	UNA-96-13	Univ. Nac. Agraria- Lima	Or. Híbrido	G. b. x G.h.	
	H-1512	Empresa Hazera- Israel	Híbrido F1	G. b. x G.h.	
	H-362	Empresa Hazera- Israel	Híbrido F1	G. b. x G.b.	Partes altas de los valles?

\* Para el proyecto “Tangüis”, sería valioso incorporar nuevos linajes Tangüis en el ensayo E1-1, pero solamente en el caso que las diversas empresas criadoras tienen nuevo material promisor.

\* Para el proyecto “barbadense”, sería importante importar un número mayor de variedades Pima/ supima disponibles a nivel internacional (EUA, Israel, etc.). Averiguar con la universidad la posibilidad de testarlas sistemáticamente para las enfermedades presentes en Perú: Fusariosis, verticiliosis, alternariosis, y también para los nemátodos. Testar las variedades de la Delta and Pine Land (DPX-1971; DPX-1644; DPX-4444; DPX-5596; DPX-7623) presentes en algunos de los ensayos “barbadense”

En el caso de encontrar material con característica de resistencia genética a algunas de estas molestias, podrán también ser incluidas en el programa de mejoramiento del Tangüis.

\* Para los híbridos, la propuesta es de elaborar un ensayo cuyo tratamiento principal es el régimen de riego para evaluar la rusticidad (o tolerancia a la falta de agua en el momento oportuno) de los híbridos en relación a los Tangüis.

#### Ejemplo de dispositivo:

Localidad: valle a donde no hay problema de disponibilidad en agua (Cañete?)

Variedades: una variedad Tangüis precoz y una variedad tardía, dos Pima y dos híbridos? (A: Pima-S-7; B: Phytogene 57; C: UNA-96-13; D: Una-1; E: H-1512; F: H-362);

Agua: T0 : régimen con 5 riegos, 4 a más del machaco:

Machaco/ Poza (Setiembre- Octubre)

R1 # 30 noviembre (laguna); R2 # 30 diciembre (laguna); R3# 31 enero (bombeo); R4# 29 febrero (bombeo).

T1: régimen con 8 riegos (intercalando riegos entre Poza/Machaco y R1; R1/R2; R2/R3, R3/R4).

Dispositivo: hacer mínimo 3 repeticiones. Split Plot con factor principal = agua y factor secundario = variedad.

\* Balance técnico/ económico del cultivo de un híbrido en relación a un Tangüis: podrá utilizar campos comerciales para hacer este tipo de levantamiento de costos de producción/ ingresos.

#### 4-2 Los ensayos comparativos de cultivares y los ensayos agronómicos de Chavimochic.

En el primer año de trabajo en este perímetro, es adecuado testar el máximo posible de variedades barbadense, hirsutum y de híbridos, sin tener posiciones a priori favorables o desfavorables.

También, tenemos que aprovechar las facilidades a disposición para determinar los padrones generales del cultivo con este tipo de riego, densidad de siembra principalmente.

Para la fertilización, en el anexo 4, son presentados algunos elementos para orientar los técnicos sobre los estadios fenológicos del cultivo que requieren más fertilizantes. Cada tipo de material (Tangüis, barbadense, hirsutum) tiene que recibir riego diferenciado.

Consecuencia: se necesita planear los ensayos en parcelas con regulación de goteo independiente (parcelas de 4.000m<sup>2</sup> cada una) para cada tipo de material.

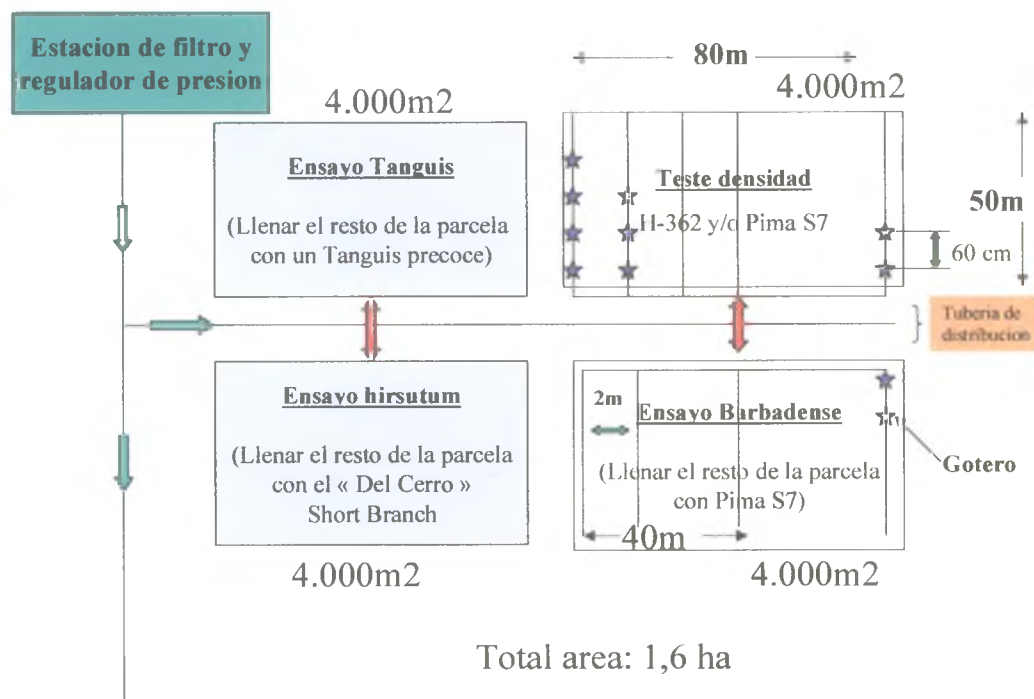
Las dosis y composición de la fertilización (macro, micro y oligo nutrientes) serán definidas de acuerdo con el nivel de productividad esperada.

Tipo Ensayo	Variedad	Obtendor	Tipo varietal	Especie	Local Ensayo
Ensayo 1-1	LMG1-72	Suc. L. Massaro- Chinch	Tangüis	G.barbadense	Chavimochic
	ICA-161-74	Asoc. Agric. De Ica- ICA	Tangüis	G.barbadense	Parcela Tangüis
	UNA-1	Univ. Nac. Agraria- Lima	Tangüis	G.barbadense	
	CN-CPR-208-84	Asoc. Agric. Cañete- Cañete	Tangüis	G.barbadense	
	CH-H-23-90	Fonagro- Chinch	Tangüis	G.barbadense	
Ensayo 1-2	Pima-S-7	Arizona-USA	Supima	G.barbadense	Chavimochic
	Phytogene-57	California-USA	Supima	G.barbadense	Parcela Pima
	Conquistador	California-USA	Supima	G.barbadense	
	UNA-96-13	Univ. Nac. Agraria- Lima	Or. Híbrido	G. b. x G.h.	
	H-1512	Empresa Hazera- Israel	Híbrido F1	G. b. x G.h.	
	H-362	Empresa Hazera- Israel	Híbrido F1	G. b. x G.b.	
	DPX-1971	California-USA	Supima	G.barbadense	
	DPX-1644	California-USA	Supima	G.barbadense	
	DPX-4444	California-USA	Supima	G.barbadense	
	DPX-5596	California-USA	Supima	G.barbadense	
	DPX-7623	California-USA	Supima	G.barbadense	
Ensayo 1-3	Maxxa	California-USA		G. hirsutum	Chavimochic
	Phytogene 33	California-USA		G. hirsutum	Parcela hirsutum
	Del Cerro P.SB	Romero Trading, Chiclayo		G. hirsutum	
	CH-HG-92	Fonagro- Chinch		G. hirsutum	
	DPX-9051-1883	California-USA		G. hirsutum	
	DPX-9051-0720	California-USA		G. hirsutum	
Ensayo Upland	Guanzuncho Etc...			G. hirsutum	

Además, es necesario prever un ensayo de densidad de siembra. Si hay semilla suficiente, prever una cuarta parcela de 4.000has para cultivar de un modo semi comercial el híbrido o un Pima americana (Pima S7), con 3 densidades de siembra diferentes. Podemos eventualmente programar un ensayo completo, con diseño estadístico.

A seguir un ejemplo de disposición en campo de las 4 parcelas, con sistema de riego independiente.





#### 4-3 Los trabajos de la estación de mejoramiento del IPA en Chinchá

Actualmente, el IPA conduce trabajos de evaluación y creación varietal en la estación de FONAGRO.

Algunos puntos de importancia para ser definidos:

- equipamiento informático para el programa de investigación del IPA (análisis y almacenamiento de los datos del programa).
- Cuadro de técnicos permanentes para la conducción de los trabajos de campo
- Adecuación de los recursos financieros a el volumen de los trabajos conducidos (programa Tangüis/ Valles de la Costa pacífica, Pima peruano/ Piura, Upland de la Selva amazónica).

Otro punto de importancia: Establece un equilibrio entre las 3 partes de un programa de trabajo de una empresa de creación de cultivares:

- 1/ Programa de creación de cultivares (Selección)
- 2/ Programa de evaluación de los cultivares (red de ensayos)
- 3/ Programa de multiplicación (multiplicación de los cultivares en testes, pero también de los cultivares a ser lanzados comercialmente).

##### 4-3-1 La estructuración de un programa de multiplicación de los cultivares en experimentación

Nos vimos en los capítulos anteriores que cada propuesta para la programación de la campaña 2000/ 2001 tiene su limitación debido a la cantidad de semilla disponible. A fin de se librar de esta limitación, recomendamos la programación de parcelas aisladas de multiplicación de los cultivares presentes en los ensayos, para alimentar la red de ensayos multilocales.

Ciertas reglas deben ser respetadas:

A/ Superficie: depende de la cantidad de semilla necesaria. Por ejemplo, pensando a una red multilocal de 6 ensayos, se necesitaría entre 12 e 15 kg de semilla de buena calidad. Bien conducida, una parcela aislada de multiplicación debe producir mas de 3000Kg de algodón rama por ha. La superficie de estas parcelas aisladas es entonces de:

$$X \text{ en m}^2 = \frac{(10 \text{ a } 15) \text{Kg} \times 10.000 \text{m}^2}{3.000 \text{Kg} \times 0.55} = 60 \text{ a } 90 \text{ m}^2$$

#### B/ Aislamiento:

También, este programa de multiplicación visa poner las bases de la obtención de semilla de alta pureza genética. Es llamativo la gran variabilidad existente en los cultivares y linajes Tangüis y Pima, una parte probablemente en consecuencia de la utilización de “pepa” y no de semilla certificada, pero hay que perguuntarse también sobre el sistema actualmente utilizado por los semilleristas para multiplicar los materiales.

En anexo 1 se encuentre el esquema teórico de multiplicación de un cultivar, que cada empresa tendría que alcanzar en el futuro.

En anexo 2 se encuentra literatura sobre los inter cruzamientos en algodón y un levantamiento sobre las normas de aislamiento en vigor en algunos países para la producción de semilla de algodón del Upland.

En Perú, la taza de cruzamiento natural es probablemente mayor que en otros países debido a la gran preservación de la entomofauna. Es una razón a mas para aun aumentar mas los niveles de aislamiento de las multiplicaciones.

#### C/ Calidad de la semilla

El argumento mas fuerte en contra de la producción propia de semilla para el programa de investigación es relativo a la calidad de la misma: poder germinativo y vigor de la semilla.

Gran atención debe ser proporcionada a los lotes aislados para la no proliferación de las plagas de mayor impacto sobre la calidad de la semilla : *Pectinophora* y el arrebiatado (*Dysdercus*)

Cuando cosechado, el algodón debe ser desmotado rápidamente, y en caso de necesidad, la semilla tratada con insecticida antes de ser almacenada.

### 4-3-2 El programa de mejoramiento genético.

En consecuencia de esta programación, es importante que el IPA pueda adecuar su presupuesto a las actividades planeadas.

En el caso de confirmar la ampliación de los trabajos, va ser indispensable pensar a un refuerzo el cuadro técnico del IPA.

A partir de la próxima campaña, los trabajos de mejoramiento del Tangüis van a aumentar drásticamente. Diferentes decisiones tienen que ser tomadas en relación a la conducción de los ensayos en ICA y en Chíncha. Es importante recordar que no se puede pensar en un programa de mejoramiento genético sin una infra estructura mínima: terrenos, pero también locales para el almacenamiento de las cosechas y el desmote, y sobre todo un equipo técnico bien entrenado y de confianza.

Algunas observaciones:

A/ Los cruzamientos

La recomendación recibida del Dr Percy , de entrar con un esquema de cruza entre Tangüis y Pima americano a fin de buscar mejor determinación del ciclo de la planta , es muy valiosa.

Pero mi interrogación se refiere a dos puntos principais:

- i) Los Pima americanos cuyo ultimo material de amplia difusión es la Pima S7 son obtenidos a través de procesos de selección visando aumentar su resistencia a las altas temperaturas (aumentar su eficiencia fotosintética en condiciones de altas temperaturas). ¿Será que son los genitores más adecuados para ser cruzados con los Tangüis, que son materiales que no van a ser cultivados en las mismas condiciones que Arizona?. Si existe Pima peruanos más determinados (ver los materiales testados en el ensayo Pima de Romero Trading), ¿no serán más adecuados para entrar en cruza con los Tangüis?.
- ii) Los Pima americanos son muy sensibles a algunas enfermedades como alternariosis, nemátodos y fusariosis. En la descendencia de las cruza entre estos materiales y los Tangüis, será más complicado seleccionar material tolerante a estas molestias en ausencia de testes de screening sistemáticos. Algunos materiales Pima peruanos del ensayo de Romero Trading parecen mucho menos sensibles a estas enfermedades.

De esto, será muy importante tener acceso a los resultados completos del ensayos de Piura (fenología de los materiales, tecnología de la fibra, productividad) a fin de determinar si una variedad Pima peruana no podría ser un excelente progenitor para el programa "Tangüis determinado".

B/ Las variedades híbridas y las variedades línea puras:

Es importante recordar la diferencia entre los cultivares línea pura (como son la mayor parte de los cultivares de algodón Pima, Upland o Tangüis) y las variedades híbridas (ejemplo de los híbridos israelensis).

En el primer caso, las variedades linajes puras son obtenidas después de varios ciclos de autofecundación de la linajes (mínimo 5), estos ciclos visando a llegar a un estadio homocigotia para los principales locus del genoma de la planta. Así, una variedad línea pura es estable a lo largo de las multiplicaciones.

En el segundo caso, la variedad híbrida es obtenida directamente de una cruce entre dos variedades diferentes. Debido a lo fenómeno de heterosis, mucho veces una variedad híbrida tiene más vigor y productividad. El punto negativo es que la semilla tiene que ser obtenida cada año a partir del cruzamiento entre los padres iniciales, con consecuencia un precio más elevado. La semilla obtenida de la multiplicación de un campo de una variedad híbrida es muy heterogénea, sin interese para ser usada en un cultivo comercial el año siguiente.

En el caso del programa de mejoramiento del Tangüis iniciado por el IPA, el objetivo es la obtención de variedades linajes puros de Tangüis más determinados. Para llegar a este objetivo, la primera etapa del proceso es la realización de cruzamientos entre padres con características complementares deseables. Por ejemplo, queremos crear nuevas variedades de Tangüis más determinadas; entonces se hacen cruza entre Tangüis (fibra, rusticidad ) y Pima (ciclo más determinado, buena resistencia). El híbrido obtenido no es destinado a ser testado en ensayos, pero a ser autofecundado durante varios ciclos a fin de favorecer las recombinaciones entre los genes de los dos padres. Dentro de esta nueva variabilidad criada, se realizará selección para eliminar las líneas con defecto y guardar las líneas que reúnen las características ventajosas.

C/ Las metodologías de selección:

Hay varias metodologías de selección, pero el plazo para la obtención de un nuevo cultivar a ser comercializado es al rededor de 10 años a partir de la cruce.

A seguir algunas ideas generales sobre el tema

(Ref: Investigación interdisciplinaria para una producción algodonera sostenible y competitiva-  
Modulo 2. Genética algodonera  
CIRAD-CA. Junio de 2000)

**Etapas de la selección de una variedad**

<b>Etapas</b>	<b>Generación</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año</b>
Cruzamientos		10 à 25	n
Análisis de descendencias F1	F1	10 à 25	n+1
Selección plantas	F2-F4		n+2 à n+4
Test precoz / selección líneas	F5	25	n+5
Ensayos multilocales-plurianuales en medio controlado		12	n+6 à n+8
Ensayos en medio real		3	n+7 à n+9
Selección conservadora	G0-G4	2	n+5 a fin difusión variedad
Multiplicaciones semillas certificadas	R1-R2	1	n+10 a fin difusión
Difusión	R3	1	n+11 à fin diffusion

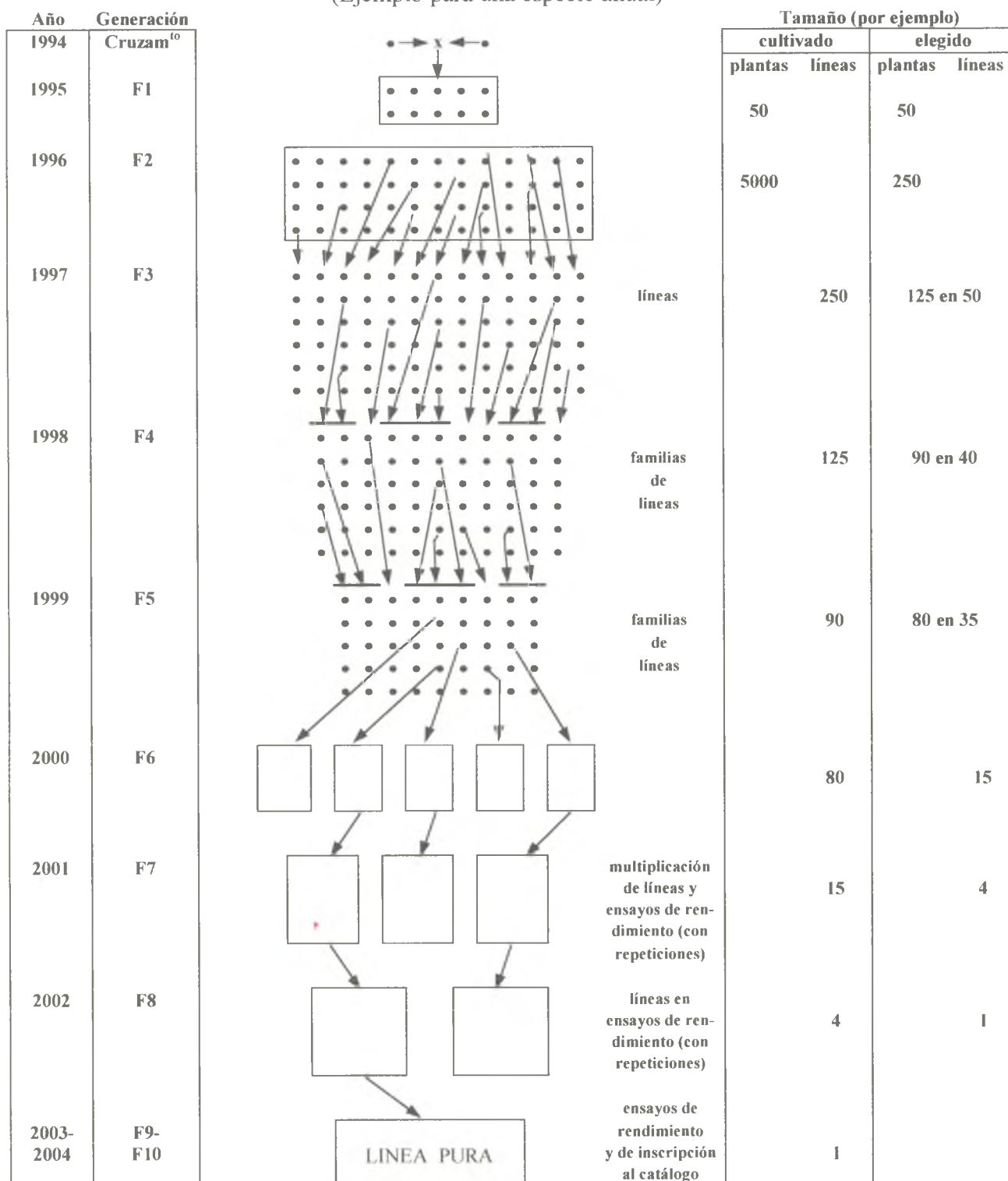
- La F1 puede ser realizada en intercampaña si ningún dispositivo estadístico de análisis es operado. Ciertas generaciones de multiplicación (G1) pueden igualmente ser cultivadas en intercampaña.
- Los test precoces son generalmente realizados sobre la F5, sin embargo, según el texto de este volumen, se tendrá interés a proseguir la selección hasta F8-F10.

A respecto de las metodologías de trabajo, muchos investigadores usan la selección pedigree (selección genealógica), más o menos modificada. El principio es el siguiente:



## Esquema de la selección genealógica

(Ejemplo para una especie anual)



Una de las ideas más importante es relacionada con las recombinaciones genéticas. Ellas ocurren en gran cantidad en las líneas F2 y F3 . En consecuencia, es de suma importancia de guardar un gran número de líneas F2 y F3 para cada cruzamiento, haciendo poca presión de selección en estos estadios.

Así, la cantidad de líneas en selección va a aumentar en los próximos años , como también el costo global del programa (Mano de obra, Desmote, Análisis tecnológicas etc..)

### D/ Los criterios de selección

El programa Tangüis visa obtener cultivares más determinados que los Tangüis actuales. Manteniendo los niveles actuales de potencial productivo y tecnología de la fibra, el esfuerzo se hará sobre los criterios fenológicos de las linajes y los criterios de resistencia/ tolerancia al complejo parasitario de las raíces (Nematodos, verticiliosis, fusariosis).

- Criterios fenológicos:

Según la literatura, en los Estados Unidos los criterios para clasificar los cultivares en función de la “determinación” del ciclo pueden ser relacionados con el número de nudos vegetativos y el NAWF –Node Above White Flower (criterios fáciles de medir).

Variedades indeterminadas:

8 hasta 9 nudos vegetativos; NAWF de 8 hasta 10 al inicio de la floración.

Variedades determinadas:

4 hasta 5 nudos vegetativos; NAWF de 6 hasta 8 al inicio de la floración.

En base a estos criterios, una variedad intermediaria tendrá alrededor de 6 nudos vegetativos y NAWF alrededor de 8 al inicio de la floración.

Pensar también a trabajar sobre el porcentaje de retención sobre la primera posición frutífera de la planta.

- Criterios de resistencia/ tolerancia al complejo parasitario de las raíces (Nematodos, verticiliosis, fusariosis).

La cantidad de linajes en segregación (F3 hasta F6) será muy grande. En estas condiciones, es probablemente mejor pensar en un dispositivo de screening en campo porque cualquier dispositivo en invernadero/ laboratorio será de costo muy importante (pero de mejor potencia).

Un dispositivo de screening en campo se basa sobre la disponibilidad de una parcela infectada con los patógenos citados. Técnicas culturales o de infestación artificial son usadas cada año para aumentar y homogeneizar el inoculum en la parcela.

Para este trabajo, es indispensable disponer de una parcela fija, a donde los trabajos serán conducidos durante varios años seguidos.

Consecuencia: hay que disponer de una estación experimental permanente a donde se podrá trabajar cada año, y también posibilitando el aislamiento de esta parcela de cualquiera parcela comercial (riscos de difundir las enfermedades).

## Conclusion

En Chavimochic, buena oportunidad para el IPA conducir trabajos de cultivos del algodón sobre riego por goteo. En el caso de comprobar que el algodón es una alternativa rentable al cultivo del esp  rrego, el área algodonero podría iniciar un crecimiento en la costa peruana.

Necesidad de complementar los ensayos de evaluación de cultivares con experimentos agronómicos a fin de determinar mejor las diferencias de “rusticidad” entre las variedades Tangüis y los híbridos.

Se puede prever un fuerte aumento de los trabajos del IPA relacionados tanto al programa Tangüis (Programa de mejoramiento- cantidad de linajes, Programa de evaluación de cultivares – cantidad de localidades ) como al programa de Chavimochic o de la selva. En consecuencia, hay necesidad de reforzar el cuadro técnico del IPA

En el caso del IPA decidir empezar un programa de trabajo en la zona de Piura sobre los Pima, es indispensable identificar primer el cuadro de estos trabajos (con quién se asociar, a donde conducir los ensayos..).

De acuerdo con ambas partes, la última visita de este primer año de contrato de cooperación IPA/ CIRAD podría realizarse en el mes de setiembre de 2000 para el análisis s  ntetica de los resultados.

A seguir los ANEXOS:

**ANEXO 1:** Esquema teórico de producción de semilla certificada

**ANEXO 2:** Bibliografía sobre los inter cruzamientos en algodón y sus consecuencias para las normas de aislamiento de los campos de producción de semilla.

**ANEXO 3:** Las unidades de calor para el algodón

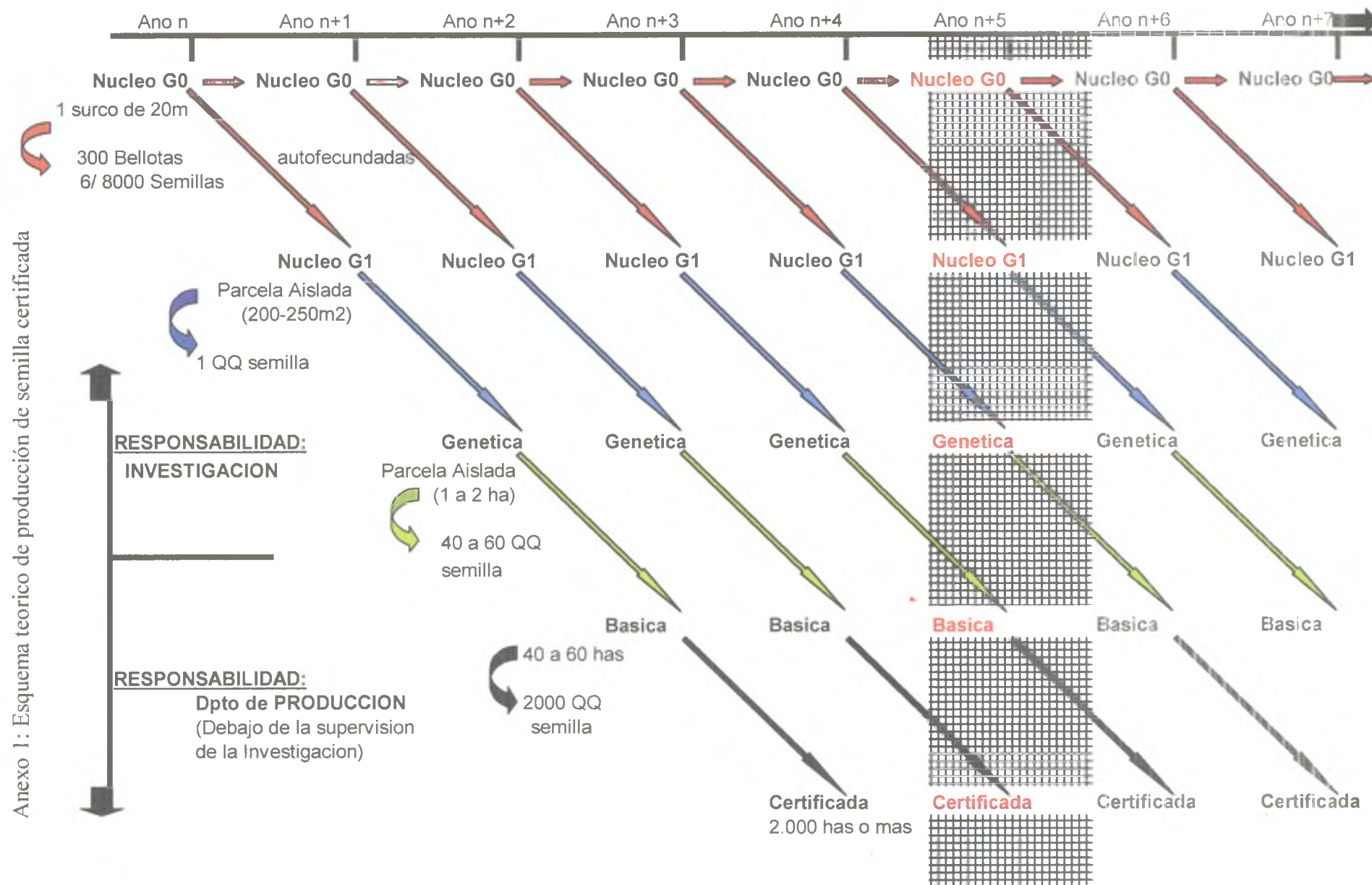
**ANEXO 4:** Algunas orientaciones para la fertilización en el perímetro de Chavimochic

## Documentos encontrados durante esta visita y disponibles en el “Proyecto Cono Sur” en Brasilia-DF:

- Documentos presentados en el Forum de Lima- Mayo 2000:
  - 1/ Manejo del n  trgeno y del Cloruro de mepiquat (Pix) para el algodón en Arizona- Jeffrey C. Silvertooth.
  - 2/ Variedades de algodón en E.E.U.U. y sus características- Richard Percy.
  - 3/ El algodón peruano. Perspectivas para el desarrollo- IPA

# ESQUEMA DE MULTIPLICACION DE CULTIVARES DE ALGODON

Ex: Tanguis, campos de semilleristas con rendimientos de 70QQ/ has de alg rama





Anexo 2: Bibliografía sobre los intercrucamientos en algodón y sus consecuencias para las normas de aislamiento de los campos de producción de semilla.

- ¿Autor?, ¿Año?. Insect pollination of crops- Gossypium, pp 354-369.
- **Petalcorin M.R.; Cabangbang R.P. and Bader R.F.** (1989): Efficiency of some controlled pollination techniques in cotton (*G. hirsutum* L.). The Philippine Agriculturist, Vol.72, N°3, 291-301.
- **Castro E. da M.; Gridi-Papp I.L.; Paterniani E.** (1982): Eficiência de barreiras vegetais no isolamento de parcelas de algodoeiro. Pesq. Agropec. Brasília, 17(8): 1155-1161.
- **Penna J.C.V.; Miranda A.R.; Santos dos E.O.** (1991): Controle artificial de polinização em algodoeiro. Pesq. Agropec. Brasília, 26 (3):347-352.
- **Afzal M.; Khan A.H.** (1950): Natural crossing in cotton in western Punjab. I. Natural crossing in contiguous plants and rows. Agronomy Journal, vol.42,N°1,pp14-19.
- **Afzal M.; Khan A.H.** (1950): Natural crossing in cotton in western Punjab. II. Natural crossing under field conditions. Agronomy Journal, vol.42,N°2,pp89-93.
- **Afzal M.; Khan A.H.** (1950): Natural crossing in cotton in western Punjab. III. Methods of checking natural crossing. Agronomy Journal, vol.42,N°4,pp 202-205.

( Copia de estas publicaciones son remitidas al IPA separadamente)

Ejemplos de normas de aislamiento entre campos de producción de semilla de algodón en diferentes países:

#### **EUA, USDA/ Arizona**

Aislamiento	Fundación	Registrada	Certificada
Entre variedades similares, de la misma especie	7,7m	7,7m	7,7m
Entre variedades de una misma especie, pero que difieren solamente para características vegetativas	30,8m	30,8m	30,8m
Entre especies diferentes (Upland x Pima)	407m*	407m	203m
Entre variedades que difieren solamente por el color de la fibra	1626m	1626m	1626m

\* con 15m de algodón de bordadura en la dirección de otra parcela vecina de algodón.

#### **ESPANA, 1987**

Aislamiento	Pre base (G1 a G3) o Base	Certificada R1	Certificada R2
Entre variedades de la misma especie	50m	40m	30m
Entre variedades de especies diferentes	500m	500m	300m

#### **ARGENTINA, INASE, 1995**

Aislamiento	Cualquiera categoria
Entre culturas de la misma especie	100 con cultivo denso entre los campos de algodón o 200m sin cultivos
Entre especies diferentes	200m

## BOLIVIA, SNAG

Aislamiento	
Entre categorías diferentes de la misma variedad	30m
Entre variedades diferentes	50m

## BRAZIL- SEAB Paraná 1995

Aislamiento	Basica	Certificada
Entre campos del mismo cultivar	3m livres o con cerca / camino	
Entre cultivares diferentes	200m sin cultivo o 50m con cortina alta	100m sin cultivo o 25m con cortina alta

## BRAZIL – CESM Ceará 1994

Algodón “herbáceo” = *G. hirsutum* L.

Algodón “arbóreo” = *G. hirsutum* raça Marie Galante = Mocó

Aislamiento	Sin cortina	Con cortina
Entre cultivares diferentes del mismo tipo (herbaceo y arboreo)	100m	50m
Entre cultivares de herbáceo y cultivares de arbóreo	500m	100m

### Anexo 3: Las unidades de calor para el algodón (José Martin y Jean-Louis B  lot)

El concepto de Grados-días (Degree-days) está basado en el hecho que existe umbral de temperatura mínimo abajo del cual plantas no presentan crecimiento, y arriba del cual el desarrollo prosigue. En el caso de plantas, también existe umbral de temperatura máxima arriba del cual el desarrollo para. El término "grado-día" se refiere a la cantidad de temperatura acumulada entre los umbrales min y max. En la teoría, la cantidad total de unidades de calor para que una planta realice un ciclo completo debería ser constante para cada especie o variedad. En realidad, existe variabilidad debido a la interacción de otros factores (alimentación en agua, fertilizantes, luminosidad etc...).

La acumulación de calor es diaria ( por eso se habla de grados- días). Calculase con las temperaturas máximas y mínimas diarias y la temperatura base del cultivo considerado.

**Temperatura base** para el crecimiento del algodonero es de 60  F = 15,56   C.

En el caso del cultivo de algodón en zonas muy calientes, se usa a veces **una temperatura techa**.

Ejemplo de temperatura techa: 100  F = 37,78   C (Kerby and al (1985)

(Kerby, T.A.; Wilson L.T.; Jackson S. (1985), Proc. Beltwide Cotton Res. Conf., pp366-368.)

Nota: durante bastante tiempo, se considero que la temperatura base del algodón era 55  F, o sea 12,78  C. Ultimamente, parece haber consenso en EUA con 60  F, para los Upland.

Pero para los Pima / Supima de Arizona, sigues usando **55  F (12,78  C)** y **86  F (30  C)** para los umbrales base y techo.

Calculo de las unidades de calor acumuladas por el algodón en 1 día:

1/ En   F:  $[(T_{max} - T_{min})/2] - 60$

2/ En   C:  $[(T_{max} - T_{min})/2] - 15.56$

Unidades de calor acumuladas en n días: suma de las acumulaciones diarias de los n días

Relación entre grados Celsius y grados Farhenheit

$T \text{   C} = 5/9 (T \text{   F} - 32)$

Formulas de conversión:

1/ UC   F = UC   C x 9/5

2/ UC   C = UC   F x 5/9

Referencias sobre unidades de calor exigidas para el desarrollo de Upland en el Centro-sur de EUA (Oosterhuiss D., Univ. Arkansas)

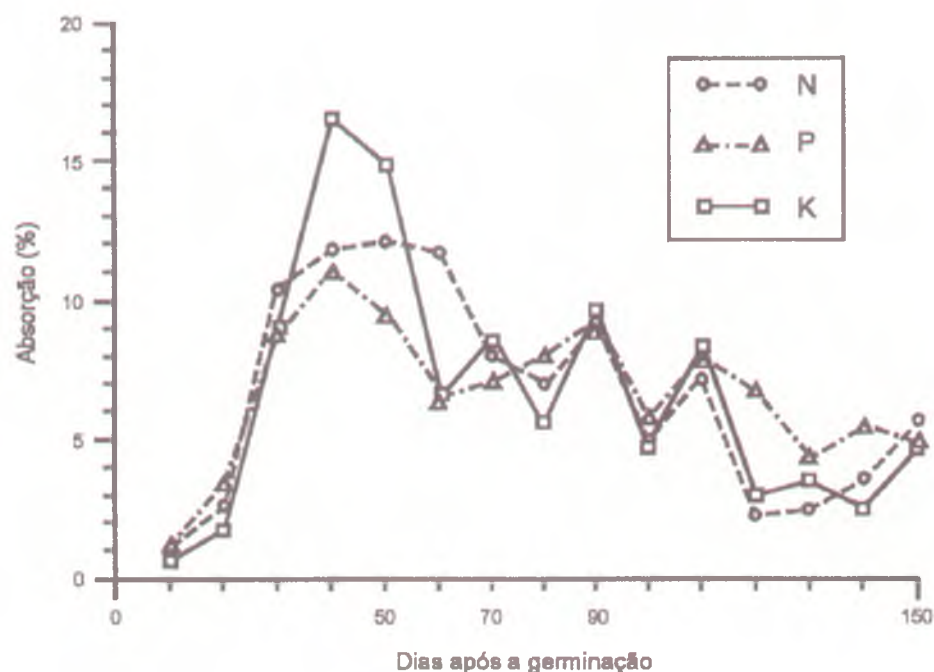
	UC (15.6��C)	UC (15.6��C)	Días con temperaturas medias de:		
	Intervalo	Valor Central	22��C	25��C	28��C
De siembra a emergencia	28-33	30	4.3	3.0	2.3
De un nudo para otro	25-36	30	4.3	3.0	2.3
De emergencia a primer botón	235-265	250	35.7	25.0	19.2
De botón a flor	165-195	180	25.7	18.0	13.8
De siembra a primera flor	430-470	450	64.3	45.0	34.6
De flor a dehiscencia	470	470	67.1	47.0	36.2
De siembra a cosecha	1450	1450	207.1	145.0	111.5

Existe varios métodos para el calculo de los grados- días, que se encuentren en los documentos a seguir:

## Anexo 4: Algunas orientaciones para la fertilización en el perímetro de Chavimochic

Es sistema de riego por goteo permite la fertilización de la parcela al mismo tiempo que el agua. Será necesario orientar los técnicos del Fondo al respecto de la dinámica de absorción de los nutrientes dentro de una planta de algodón a fin de disponibilizar los elementos al momento oportuno.

**Para el algodón Upland**, las curvas de absorción para nitrógeno, fósforo y potasio son las siguientes (MENDES, H.C. (1960): "Nutrição do algodoeiro.II Absorção mineral por plantas cultivadas em soluções nutritivas." Bragantia, campinas,v.19,pp.435-458.)



Otros autores (Frye A. y Kairuz G., 1990 in "Bases Técnicas para el Cultivo del algodón en Colombia" - G.A.Alcaraz,Ed) presentan datos semejantes:

Tabla: Absorción relativa parcial de nutrientes a través del ciclo de vida del algodónero y extracción total para producir una tonelada de fibra por hectárea.

Epoca Dds*	Etapa cultivo	% Elementos absorbidos						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
1-20	Establecimiento	3.6	4.5	2.3	4.0	13.2	6.5	15.4
21-60	Botones, flores	46.0	35.9	47.1	44.3	32.4	46.7	24.1
61-100	Flores, cápsulas	29.1	30.0	28.5	30.7	23.1	26.1	27.8
101-140	Maduración y apertura	15.6	24.6	17.4	16.7	26.8	15.8	24.1
Extraccion total (kg/ha)		180	34	160	105	36	29	9

De uno modo general, se puede decir que los elementos que se absorben con mayor intensidad en cada una de las principales etapas del cultivo són:

**Establecimiento de plántulas:** hierro, magnesio, azufre y fósforo

**Primeros botones y flores:** potasio, azufre, nitrógeno y calcio

**Floración y primer ciclo de cápsulas:** calcio, fósforo, nitrógeno y potasio

**Maduración y apertura cápsulas:** magnesio, fósforo, hierro y potasio



# And Insect Management

BY VAHRAM SEVACHERIAN<sup>1</sup>  
and KAMAL M. EL-ZIK<sup>2</sup>

which significant development ceases. These temperatures vary with different organisms and species. Carefully controlled laboratory and field experiments have determined the minimum and maximum developmental temperatures for certain plants and insect-pests.

The term degree-days refers to the amount of heat units accumulated within these lower and upper temperatures and can be defined as values derived from accumulated daily minimum and maximum temperatures required for completion of various biological processes in an organism. The total of heat units necessary for an organism to complete a generation is a constant for each species. The accumulation of degree-days for each organism starts at a point in its development known as the "biofix". Time of biofix varies with the organism, and is based on a biological event such as a planting date, insect emergence or trap catch, or germination of plant pathogen propagules. By keeping track of spring emergence, egg-laying periods, and generation time of insect pests on a basis of daily heat inputs, one can greatly reduce the errors in timing of such events which would occur if predictions were based on calendar dates. This is due to the fact that plant or insect development is very sensitive to changing temperature patterns from year to year, or area to area. The cotton plant and insect models on which the Slide Rule is based use only the lower temperature thresholds. A warmer or longer growing season (more accumulated heat units) does not necessarily mean that the crop yield will be higher — continuous excessive high daily temperatures can result in crop stress and affect the plant-water status.

## Plant Development

Field data collected over several years were used to develop and verify plant growth and development models for Acala and Deltapine cotton varieties and for lygus bug, pink bollworm moth, and tobacco budworm moth, the chief insect pests of cotton in California. These models are based on a developmental threshold temperature of 60° F (commonly referred to as DD-60). Degree-days were calculated from daily minimum and maximum air temperatures using the triangulation method (described later).

The cotton plant models project the initial appearance and rate of fruit development, but only those stages considered crucial in its management are incorporated into the Slide

Rule.

Cotton varieties now grown in the San Joaquin Valley are Acala SJ-2 and SJ-5, and the Slide Rule includes an insert for each of them. Figure 1 shows the cumulative seasonal development of fruiting forms of Acala SJ-2. Each of the fruiting bodies (squares, blooms, green bolls, and open bolls) is divided into four quadrants. The

Table 1. Critical irrigation period and timing of defoliation in degree-days from planting date.

Area	Irrigation	Defoliation
		DD-60
San Joaquin Valley	1050 to 1600	2550 to 2680
Lower desert valleys	1200 to 3750	4600 to 4800

Slide Rule's cursor can be used for comparing plant and insect phenologies on any given degree-day to determine the progress of the crop and to help make management decisions.

For example, square initiation for Acala SJ-2 is projected at 500 DD, blooms at 740 DD, green bolls at 830 DD, and first open boll at 1800 DD from planting. Boll development from anthesis (opening of the flower or full blooms) to open boll, boll period, requires 950 DD, ranging from 850 to 1100 DD. Peak squaring is reached at 1170 DD, blooming at 1320 DD, and green bolls at 1770 DD. About 2750 DD are needed for the cotton growing season.

Timing of all irrigations is a major management tool for cotton in the nations southwest and western regions and is directly related to fruit production and shedding. Timing depends mostly on how much water the soil retains and on climatic conditions. In the San Joaquin Valley the first irrigation may vary from late May to past mid-June. A cool, wet spring will require a delay; warm, dry, windy conditions will hasten the first irrigation. Timing of first irrigation may vary from 450 DD for sandy to sandy loam soil, to 825 DD for silty clay to clay soil having an average timing of 615 DD. Water stress should be avoided during the peak blooming period, which occurs between 1050 and 1600 DD, as it will cause the greatest reduction in yield. Proper timing of the last irrigation will promote maturity and minimize defoliation and trash problems at harvest. Soil able to retain a large amount of plant-available water can achieve optimum productivity with a final irrigation at about 1450 DD (2100 DD for sandy soil). Average final irrigation is at 1725 DD. Defoliation is projected at 2550 to 2680 DD (55 to 75 percent open bolls) in the San Joaquin Valley (Table 1).

Data were also obtained for Deltapine varieties grown in Southern California's desert valleys and in Arizona. Under current production practices, two fruit sets are produced, as illustrated in Figure 2 for Deltapine

<sup>1</sup> Dr. Sevacherian is associate professor, Department of Entomology, Riverside, Calif.

<sup>2</sup> Dr. El-Zik is professor, Dept. of Plant Sciences, Texas A&M University, and formerly University of California Extension Cotton Specialist.

60°F = 15.6°C

December 24, 1983 / THE COTTON GIN AND OIL MILL PRESS

GROWTH AND development of cotton of its major insect pests must be well suited to practice profitable crop management. Primary factors affecting cotton are: variety, length of growing season, climate (including solar radiation, temperature, light, wind, rainfall, dew), fertility of nutrients and soil moisture, and cultural practices. However, the plant is inherently so programmed that favorable conditions its growth and development follow and orderly and predictable pattern.

Plants and pests require a certain amount of energy to progress from one stage to the next in their life cycle. Thus, the use of degree-days (DD) — the amount of accumulated heat units that promote an organism's development — as a tool in crop management and pest control is now widely accepted. The developmental rate of organisms can be predicted more accurately by using accumulated heat units than by using calendar

models of plant and insect-pest phenology which provide information on timing of development, and such events as flowering, emergence, subsequent generations, and insect-population buildup, have been developed. These models are based on degree-days and are useful in making many important crop and pest-management decisions. The Slide Rule is based on data from such models.

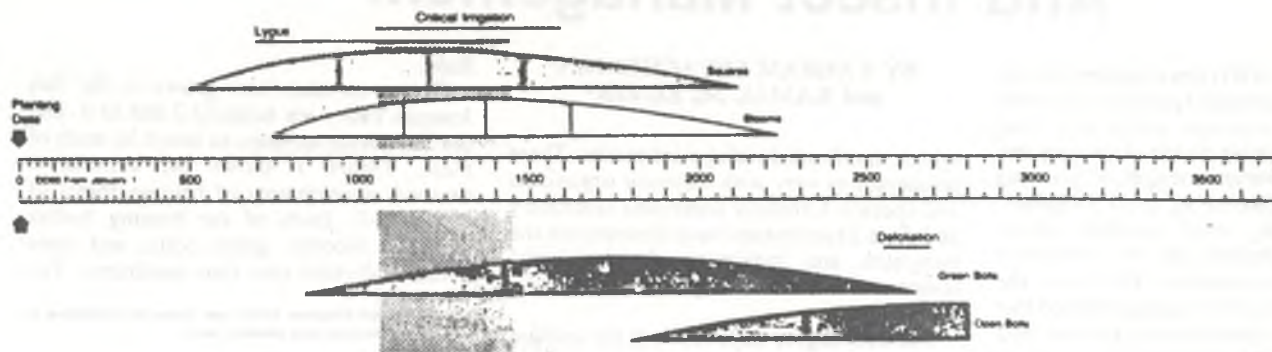
Insecticides are often applied on a calendar program, and this not only increases production costs but also destroys beneficial insects and causes insecticide resistance in the target species. To rationalize the application of such insecticides, the Slide Rule correlates the phenologies of the cotton and its major pests to show the time when insecticide applications will be most effective.

On-plant models also project the initial appearance and rate of development of squares, blooms (flowers), boll set and retention, and the Slide Rule utilizes these data indicating management practices such as irrigation scheduling, pest control, and plant nutrition. Proper management can be determined by comparing the actual progress of development and fruit-set to the standard pattern indicated on the Slide Rule — variety, development, and fruit-set are sub-plotted, a diagnosis of the problem can then be made and corrective measures applied.

## Degree-Days Concept

The concept of degree-days (DD) or accumulated heat units is based on the fact that there are minimum developmental threshold temperatures below which organisms show no development, and above which development progresses. Some organisms have upper limiting temperatures beyond

## Cotton Crop and Insect Management Guide—San Joaquin Valley



V. Sevachenan and K.M. El-Zik

© Regents of the University of California, 1983

Fig. 1. Slide Rule with Acala SJ-2 insert.

## Cotton Crop and Insect Management Guide—Lower Desert Valleys

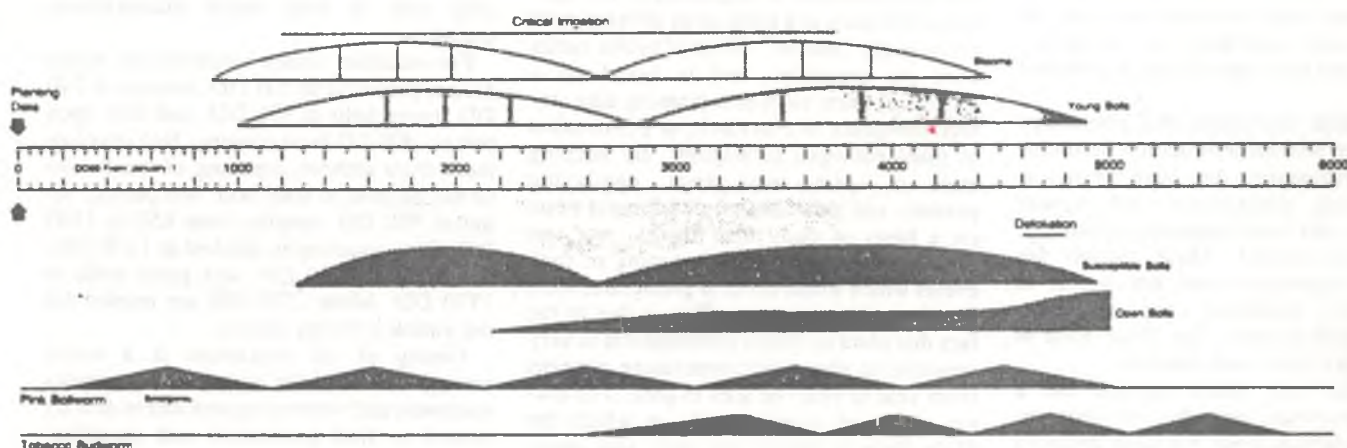


Fig. 2. Slide Rule with Deltapine 61 insert.

61. For the first fruit set of Deltapine 61, 920 DD from planting are needed to reach first bloom. The first young bolls are projected to appear at 1040 DD and peak at 1950 DD. The first open bolls should appear at 1990 DD. Research has shown that bolls most susceptible to the pink bollworm are those 14-to-21-days old, which first appear at 1290 DD and peak at 1990 DD. However, the tobacco budworm can damage bolls of all ages.

First bloom of the second fruit set is expected at 2660 DD, young bolls at 2780 DD and susceptible bolls at 2980 DD; 4900 DD are needed for the full season (Fig. 2).

The critical irrigation period in southern California and Arizona cotton-growing regions is from 1200 to 3750 DD from planting (Table 1). This wide range is due to the potentially longer growing season, the two fruit sets, and the higher temperatures. In southern California and Arizona, defoliation is recommended at 4600 to 4800 DD (70 to 85 percent open bolls).

### Insect Pests

The major insect pest in the San Joaquin

Valley for which reliable degree-days models have been developed is the lygus bug, *Lygus hesperus*, which attacks squares and small bolls and can severely damage cotton. Too often, however, insecticides are applied for control when lygus are first seen in the cotton field — during the first 2 weeks and the last 3 weeks of squaring the insect generally causes little, if any, reduction in the final yield. The crucial time for concern is during weeks 3 to 6 of squaring, at about 700 to 1400 DD (Fig. 1).

The two major pests of cotton in the lower desert valleys are the pink bollworm (*Pectinophora gossypiella*) and tobacco budworm (*Heliothis virescens*). A temperature threshold of 60° F also is used for predicting the developmental cycles of both insects. These moths have high and low population densities throughout the cotton-growing season, as shown on the lower part of the Slide Rule in Figure 3. Degree-days can also be most efficiently used to determine when monitoring and sampling should be increased when the pests are expected to be present in large numbers.

The pink bollworm emerges from diapause

(hibernation) in the spring and then develops over the season through several generations until it again enters diapause to overwinter. Spring emergence of pink bollworm moths in southern California begins in March, with peak emergence in mid-May. Peak emergence occurs at about 675 DD from January 1. Subsequent peak moth populations occur at about 967 DD intervals from peak emergence (Table 2). A complete generation, from adult to adult, takes approximately 35 to 40 days depending on prevailing temperatures. Under current production practices in California desert valleys and in Arizona, there are up to five generations of the insect per season. Applying insecticides for pink bollworm control at the right time in the pest's life cycle maximizes insecticide efficiency—it is impossible to kill a larva with currently-used chemicals after it has successfully entered the boll. Pink bollworm moth population peaks and low periods can be predicted by using the Slide Rule; insecticide use will be based on accurate data rather than on calendar scheduled applications. The pyramidal shapes on the Slide Rule in Figure 3 indicate the low-and-high-density popula-





Fig. 3. Population cycles of pink bollworm and tobacco budworm moths in degree-days from January 1.

Table 2. Phenological stages of insect pests in lower desert valleys in degree-days from January 1st.

Insect	Phenological stages	Insect	Phenological stages
Pink bollworm	Peak overwintering moth emergence at 675 DD from January 1. Subsequent moth peaks, up to five generations, at 967 DD intervals from peak emergence	Tobacco budworm	Biofix at 2600 DD from January 1. First moth peak at 3310 DD. Subsequent moth peaks, up to three generations, at 710 DD intervals from 3310 DD.

tion periods of pink bollworm moths based on a developmental temperature of 60° F (DD-60) from January 1st.

The tobacco budworm becomes a major pest on cotton later in the season than does the pink bollworm. Its high and low periods of population densities are also depicted on the Slide Rule in a pyramidal pattern based on DD-60 from January 1st (Fig. 3). The first peak of tobacco budworm moths occurs in cotton at 3310 DD from January 1st. Subsequently, the peaks of up to three generations in cotton occur at 710 DD intervals from 3310 DD (Table 2).

#### Calculating Degree-Days

Because daily minimum and maximum temperatures can be above or below the lowest developmental temperatures (T in Figure 4), three formulae are used to calculate degree-days.

**Formula 1. When minimum and maximum are less than T (Figure 4, A)**  
Degree-days = 0

**Formula 2. When minimum is less and maximum is greater than T (Fig. 4, B)**

$$\text{Degree-days} = \text{area of triangle BCD} \\ = \frac{0.25(\text{MAX} - T)^2}{\text{MAX} - \text{MIN}}$$

**Formula 3. When minimum and maximum are greater than T (Fig. 4, C)**

$$\text{Degree-days} = \text{area of ABCD} \\ = 0.25(\text{MAX} + \text{MIN} - 2T)$$

The above formulae were used to develop Table 3, which shows degree-days in ½-day intervals based on a developmental temperature of 60° F. The formulae can also be used to calculate degree-days for temperatures beyond the limits of Table 3. Degree-days are calculated in ½-day intervals because between two maximum temperatures 24 hours apart there will be a minimum temperature which we consider to be at a ½-day interval.

The calculations can be illustrated with the following example:

Date	Degree-Days		
	Temperature (°F) Per ½-day		Interval Cumulative
	MIN	MAX	
Jan. 1	38	60	(1) 0 0
Jan. 2	44	68	(2) 0 0 (3) 1 1 (4) 3 4 (5) 4 8
Jan. 3	62	74	(5) 4 8

Thus, for January 1, look up 38° F in the minimum temperature column and 60° F in the maximum temperature range. The intersection of these two temperatures shows the degree-days for that ½-day interval — in this instance 0 degree-days. The next ½-day interval begins with the maximum of January 1 and goes to the minimum of January 2 (60° and 44° F), giving a tabulated value of 0 degree-days. This procedure is continued until the required degree-days are accumulated.

#### The Slide Rule

The Slide Rule has two sides and two separate inserts. One side is for use in the San Joaquin Valley and the other for the lower desert valleys of California or Arizona. The two inserts provide data on Acala SJ-2 and SJ-5 in the San Joaquin Valley, and on Deltapine 61 and 70 in the lower desert valleys and Arizona.

The first step in using the Slide Rule is to have available the cumulative daily total of

DD-60 values from January 1st, based on daily minimum and maximum temperatures, from a reliable weather station nearest to the field location. This may be obtained from your local Cooperative Extension office or other sources. All information incorporated in the Slide Rule is based on DD-60 from January 1st.

The current year's cumulative degree-days on any given date can be compared to the 30-year average shown in Tables 4 and 5. Such a comparison will indicate if the crop is progressing normally and assist in making needed management decisions.

#### Using the Slide Rule

Assume that Acala SJ-2 was planted (or first water) on April 15th and that the field is located near Five Points.

1. Pick the insert for Acala SJ-2 and place it in the Slide Rule.
2. In Table 4 note that 99 DD have been accumulated by April 15th.
3. Because the planting date for the field is 99 DD from January 1st, move the insert until the arrow indicating the planting date is at 99 DD on the central scale (Fig. 5). For this particular field, 99 DD is the constant to be referred to when using the Slide Rule.
4. The cotton crop can now be monitored in terms of DD-60 values from January 1st.
5. Using predicted temperatures and the resultant DD-60 values, you can predict

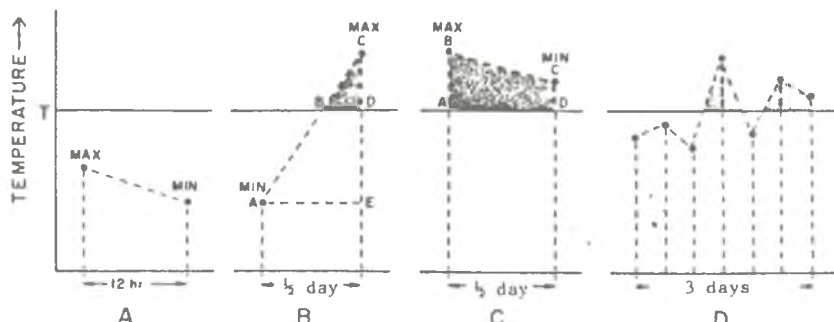


Fig. 4. Degree-days (shaded areas) based on maximum air temperatures. T is the developmental threshold temperature (60°), below which degree days are zero. A, B, C show the only possible minimum and maximum temperature relationships. D is a 3-day sequence of such relationships.

Table 3. Degree-days based on 60°F developmental threshold (DD-60) for daily minimum and maximum temperatures.\*

Minimum Temperature °F	Maximum Temperature (°F)																																		
	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	
	Degree Days																																		
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	
12	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10
14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	10
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10
20	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10
22	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	10
24	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	11
26	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10	10	11
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11
30	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11
32	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12
34	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	12
36	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12
38	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12
40	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13
42	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13
44	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13
46	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14
48	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14
50	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	14
52	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15	
54	0	0	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15	15	
56	0	0	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15	15	16	
58	0	0	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15	15	16	16	
60	0	1	1	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	
62	1	1	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	
64	1	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	17	
66	1	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	17	18	18	
68	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	
70	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	
72	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	
74	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	
76	4	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	
78	4	5	5	5	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	
80	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	
82	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	
84	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	
86	6	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	
88	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	23	
90	8	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	

\*For odd-valued temperatures, take the average of the two neighboring even-valued temperatures.



when the crop will reach different stages of development and fruit set by moving the Slide Rule's cursor to any DD-60 value.

6. Crucial periods for insect damage potential, critical irrigation, and defoliation are indicated on the Slide Rule.

Assume that the cotton (Deltapine 61) was planted (or first water) on April 5th near Brawley, CA.

1. Pick the insert for Deltapine 61 and place it in the Slide Rule.
2. In Table 5 note that 330 DD have been accumulated by April 5th.
3. Move the insert until the planting date arrow is at 330 DD on the central scale (Fig. 6).
4. The cotton crop can now be monitored in terms of DD-60 values from January 1st.

Looking at the first set of the crop indicated on the Slide Rule, note that when the susceptible bolls are at a high point (50 percent set at about 2300 DD) there is a corresponding period of low pink bollworm numbers. Similarly, when the first set of

susceptible bolls is ending there are large numbers of pink bollworm. In both periods, the crop is relatively safe from pink bollworm damage. When susceptible bolls and major insect pests are numerous at the same time, an intensive monitoring to detect possible damage potential should be initiated. (Remember that the tobacco budworm is damaging to bolls of all ages and is most destructive during the second fruit set.)

### Summary

The Cotton Slide Rule correlates the phenologies of Acala and Deltapine cotton varieties with those of their major insect pests, and this enables the grower to time insecticide treatments most efficiently. The Slide Rule is also a useful tool in crop management decisions, including irrigation scheduling and defoliation.

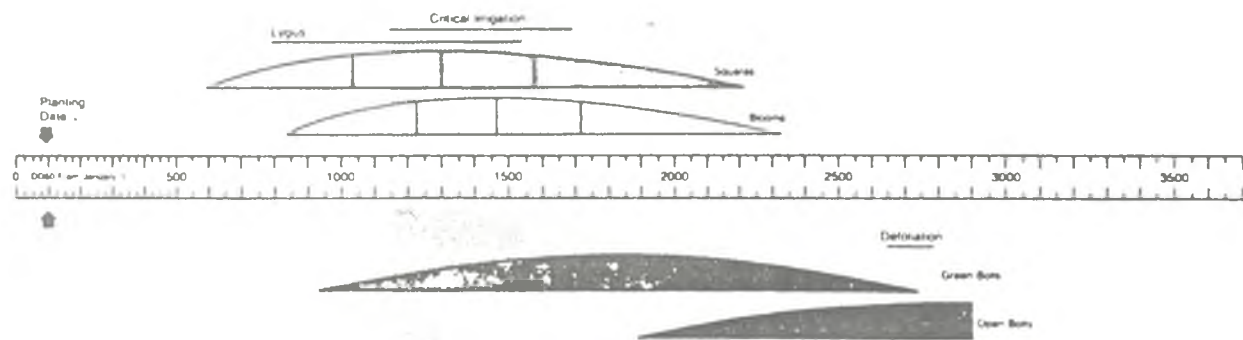
We thank the Delta and Pine Land Company for financial support in producing the Slide Rule. The cooperation and assistance in the San Joaquin Valley county tests of the following University of California Farm Advisors is gratefully acknowledged: A. G.

George, Tulare Co., O. D. McCutcheon (Deceased), Kings Co., L. S. Stromberg (Emeritus), Fresno Co., R. N. Vargus, Madera Co., D. L. West, Kern Co. (Formerly), and B. L. Wier, Merced Co., and H. Yamada, Staff Research Associate, University of California West Side Field Station, Five Points.

### References

- BROWN, H. B. and J. O. WARE.  
1958. Cotton. New York: McGraw-Hill, 566 pp.
- DENNIS, R. E. and R. E. BRIGGS.  
1969. Growth and development of the cotton plant in Arizona. Univ. of Arizona. Bul. A-64, 21 pp.
- EL-ZIK, K. M.  
1980. The cotton plant - its growth and development. Western Cotton Prod. Conf. Summary Proc., Fresno, CA, 18-21.
- EL-ZIK, K. M. and D. BASSETT.  
1976. Conditions influencing cotton yield in California. Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf., Cotton Improv. Conf. 28:152-55.
- EL-ZIK, K. M. and V. SEVACHERIAN.  
1979. Modeling cotton growth and development parameters with heat units. Proc. Beltwide (Cont. on pg. 19)

## Cotton Crop and Insect Management Guide—San Joaquin Valley



V. Sevacherian and K.M. El-Zik

© Regents of the University of California, 1983

Fig. 5. Critical lygus bug, irrigation, and defoliation periods for Acala SJ-2 based on a planting 99 DD after January 1.

## Cotton Crop and Insect Management Guide—Lower Desert Valleys

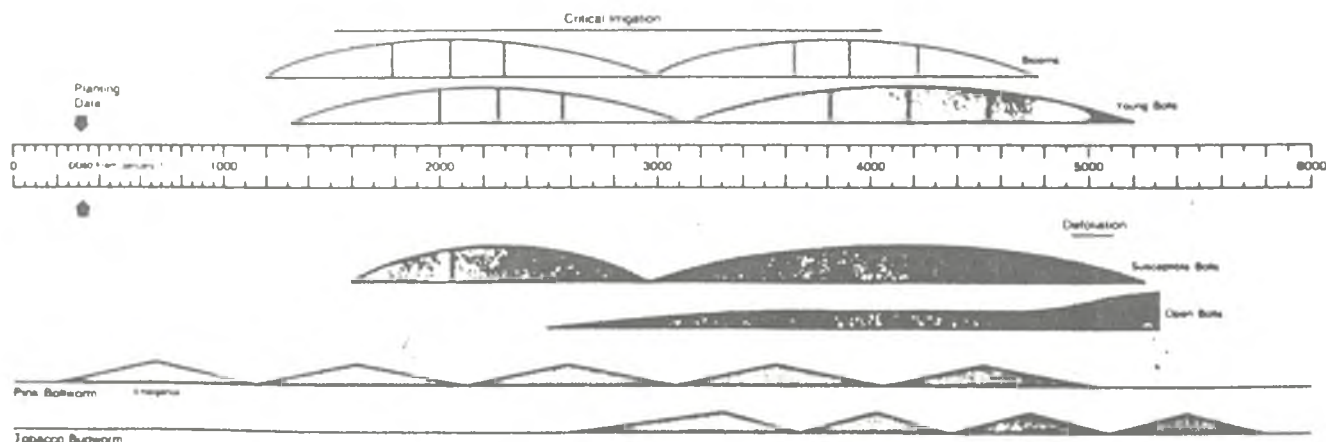


Fig. 6. Critical pink bollworm, tobacco budworm, and irrigation and defoliation periods for Deltapine 61 based on a planting 330 DD after January 1.

Table 4. Cumulative degree-days from January 1, based on 30-year averages at Five Points, San Joaquin Valley.

Day	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1	0	0	8	49	169	448	899	1543	2115	2536	2738	2773
2	0	0	8	52	176	461	916	1563	2133	2547	2741	2773
3	0	0	8	55	182	473	934	1584	2150	2557	2745	2773
4	0	0	9	60	188	486	953	1604	2167	2567	2749	2773
5	0	0	9	64	193	500	971	1624	2183	2578	2752	2773
6	0	0	10	68	199	513	990	1644	2199	2587	2754	2773
7	0	0	11	71	205	525	1009	1664	2214	2596	2757	2773
8	0	0	12	74	212	537	1028	1685	2230	2604	2759	2773
9	0	0	14	78	219	549	1048	1707	2247	2612	2763	2773
10	0	0	14	80	226	560	1067	1728	2263	2621	2765	2773
11	0	1	15	84	233	572	1086	1750	2278	2630	2767	2773
12	0	1	15	87	241	585	1107	1770	2292	2638	2768	2773
13	0	1	16	92	249	599	1128	1789	2306	2646	2769	2773
14	0	1	17	95	257	613	1150	1807	2320	2654	2770	2773
15	0	2	18	99	266	627	1172	1825	2333	2661	2770	2773
16	0	2	19	104	276	644	1193	1843	2346	2668	2771	2773
17	0	2	20	108	286	660	1214	1863	2359	2674	2771	2773
18	0	2	22	112	298	676	1236	1881	2371	2681	2771	2773
19	0	2	23	114	309	691	1259	1900	2384	2686	2772	2773
20	0	2	25	118	319	708	1280	1918	2396	2692	2772	2773
21	0	3	27	122	329	727	1301	1936	2408	2697	2772	2773
22	0	3	29	126	338	746	1323	1953	2420	2702	2772	2773
23	0	4	30	130	348	764	1346	1970	2433	2707	2772	2773
24	0	4	32	134	357	780	1368	1986	2446	2711	2772	2773
25	0	5	34	138	367	797	1390	2002	2460	2716	2772	2773
26	0	5	36	142	378	814	1413	2018	2474	2719	2772	2773
27	0	6	38	147	390	832	1435	2033	2487	2722	2772	2773
28	0	7	40	152	401	850	1458	2048	2499	2726	2772	2773
29	0		43	158	413	866	1481	2064	2511	2729	2772	2773
30	0		45	164	425	882	1501	2080	2524	2732	2773	2773
31	0		47		437		1522	2097		2735		2773

Table 5. Cumulative Degree-days from January 1, based on 30-year averages at Brawley, lower desert valleys.

Day	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1	1	47	132	299	586	1091	1840	2811	3741	4490	4935	5090
2	1	49	136	306	599	1112	1869	2842	3770	4511	4943	5093
3	1	51	139	313	613	1133	1898	2873	3799	4531	4951	5096
4	2	54	142	321	626	1155	1928	2904	3827	4550	4960	5098
5	2	57	146	330	639	1176	1957	2935	3856	4570	4969	5100
6	3	60	150	339	651	1198	1986	2967	3884	4589	4977	5102
7	4	63	155	347	664	1219	2016	2999	3913	4608	4985	5104
8	5	66	160	356	677	1240	2046	3031	3942	4626	4993	5106
9	6	70	165	365	692	1260	2077	3062	3971	4644	5000	5107
10	7	72	169	374	707	1280	2108	3094	3999	4661	5007	5109
11	8	76	174	383	722	1302	2140	3126	4027	4678	5014	5111
12	10	78	178	392	736	1325	2171	3157	4054	4694	5021	5113
13	11	81	182	402	752	1349	2202	3188	4081	4710	5027	5114
14	12	84	187	411	767	1374	2233	3219	4107	4726	5032	5116
15	14	87	192	421	782	1398	2266	3248	4132	4740	5036	5117
16	16	90	197	431	798	1423	2298	3278	4157	4754	5040	5119
17	18	93	202	441	816	1448	2329	3307	4181	4769	5044	5120
18	21	96	207	450	835	1473	2361	3336	4204	4782	5047	5122
19	23	99	213	459	854	1500	2393	3365	4227	4796	5051	5124
20	24	101	218	469	871	1527	2425	3395	4248	4809	5054	5125
21	26	104	225	478	889	1555	2456	3425	4270	4821	5057	5127
22	27	107	230	488	906	1584	2488	3454	4292	4834	5060	5128
23	29	110	237	498	923	1612	2520	3483	4314	4846	5064	5129
24	31	113	243	508	940	1640	2552	3513	4336	4857	5068	5130
25	33	117	250	519	957	1668	2584	3543	4359	4868	5072	5132
26	34	121	257	529	976	1697	2616	3572	4381	4879	5076	5133
27	36	126	265	540	995	1726	2648	3600	4404	4890	5079	5134
28	38	129	272	550	1013	1754	2681	3629	4426	4900	5082	5135
29	40		278	562	1033	1783	2713	3657	4447	4910	5085	5136
30	42		286	574	1053	1811	2745	3686	4469	4918	5087	5136
31	44		293		1072		2778	3714		4926		5137

## ANNEXE 3

### Division of Agriculture and Natural Resources.

university of California. LEAFLET 21373.

# Degree-Days: The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management

## Temperature thresholds

The notion that the growth and development of many organisms is dependent on temperature dates as far back as the middle of the 18th century, and it is still a useful concept in modern agriculture. In general, it holds that the cooler the temperatures are, the slower is the rate of growth and development of plants and invertebrate animals. Table 1 illustrates this point, showing the differences in development of cotton during a warm year (1978) and a cool year (1982), and under 30-year temperature averages. Similar differences would be observed for a range of crops as well as pest and beneficial insects, but a warmer or longer season with a greater degree-day accumulation does not necessarily imply that crop yields will be higher or that pests will be more abundant. In some instances, high temperatures can aggravate cultural problems and increase crop stress.

Figure 1A shows that an organism takes quite a long time to grow through successive stages at low temperatures. As the temperature increases, development time progressively decreases until the temperature becomes high enough to affect growth and development negatively. Figure 1B illustrates the same relationship in a slightly different manner, plotting development rate (1/days to develop) as a function of temperature. The rate of development is simply the percent development per day for a specific temperature.

The lower developmental threshold for a species is the temperature at and below which development stops. In practice, an estimate of this threshold is obtained by projecting the straight segment of the curve (Fig. 1B, broken line) until it intercepts the temperature axis. This "linear approximation" method normally overestimates the lower developmental threshold, but this is of little practical concern since little development occurs at temperatures close to the threshold. The upper developmental threshold is less well-defined but is often taken as the temperature at and above which the rate of growth or development begins to decrease. For many cropping systems upper thresholds are not used, because data for such estimates are lacking.

In practice, information such as that in Figure 1 is obtained from laboratory experimentation in which groups of organisms are grown at several different constant temperatures and their development times recorded. Figure

2 graphs the development of laboratory-reared cotton bollworms from newly hatched larvae to newly emerged adults. As temperature increased, the time taken to develop decreased, but the heat accumulation required to complete development remained approximately the same.

This measure of accumulated heat is known as physiological time. Physiological time provides a common reference for the development of organisms. The amount of heat required to complete a given organism's development does not vary. It makes no difference whether the temperature is constant or fluctuating, the combination of temperature (above the lower threshold) and time will always be the same.

Physiological time is measured in degree-days ( $^{\circ}\text{D}$ ). One degree-day is equal to one degree above the lower developmental threshold over 24 hours.

## Methods of calculation

Field temperatures normally follow a cyclical pattern, shown by the 3-day period of Figure 3. The degree-days accumulated during this period depend on the lower and upper thresholds. The lower the lower threshold is, the more degree-days accumulate (Fig. 3A versus Fig. 3B); the lower the upper threshold is, the fewer degree-days accumulate (Fig. 3A versus Fig. 3C). Two species such as a crop and a pest may differ in their thresholds and in the number of degree-days they require to complete development. Although it is fairly simple to estimate the degree-days accumulated at a constant temperature in the laboratory, as illustrated in Figure 2, the daily cyclical temperature fluctuations that occur in nature (Fig. 3) often necessitate more detailed methods.

Several techniques are available for calculating degree-days through the use of daily maximum and minimum temperatures. From the simplest to the most complex, they are: 1) averaging, 2) single triangulation, 3) double triangulation, 4) single sine, and 5) double sine. All of these are considered "linear" methods, because the rate of development is presumed to be a straight line directly related to temperature, as in Figure 1B. There are nonlinear methods as well, but they are more complicated calculations more appropriately used in research.

Table 1. Acala SJ-2 cotton development. Growth stages during a warm year (1978) and a cool year (1982) as compared with the 30-year temperature average.

Growth stage	1978	1982	30-year average
Emergence	April 27	April 22	April 22
Square initiation	June 6	June 8	June 7
First blooms	June 20	June 23	June 23
First green bolls	June 26	June 28	June 28
First open bolls	August 10	August 20	August 12
95% open bolls	October 21	—*	November 2

\*Did not reach 95 percent open

Note: Dates based on April planting, using Corcoran, California, temperatures.



## Averaging

The simplest method used to estimate the number of degree-days for one day is averaging:

$$\frac{\text{high temperature} + \text{low temperature}}{2} - \text{lower threshold}$$

This averaging method ignores the upper threshold. Figure 4A illustrates the estimated accumulation of degree-days for a 3-day period. The area of degree-days

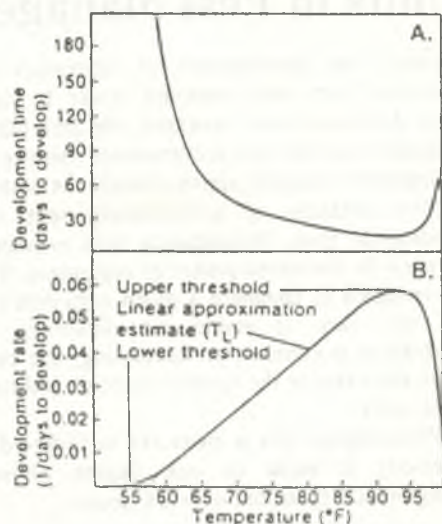


Fig. 1. An organism develops more quickly as temperatures increase up to a point, after which development slows. From Wilson and Barnett (1983).

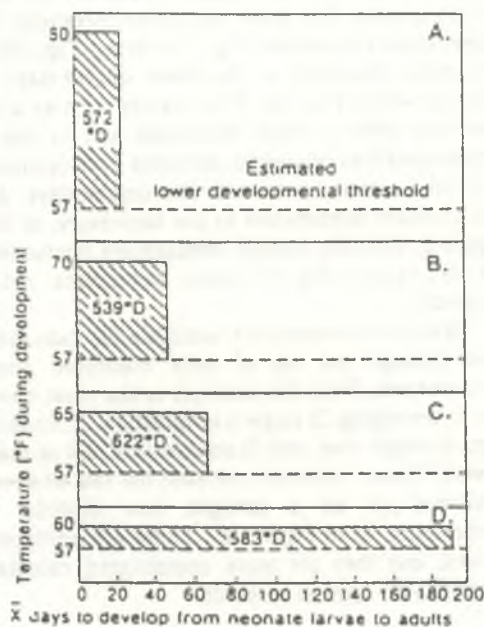


Fig. 2. Heat accumulation, or degree-days (°D), for cotton bollworm remains about the same, even though development time differs at different temperatures. From Wilson and Barnett (1983).

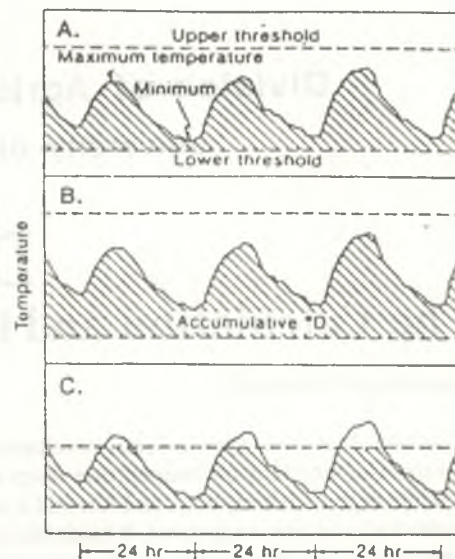


Fig. 3. In daily cyclical temperatures (A), the lower the lower threshold, the more the accumulated °D (A versus B); the lower upper threshold, the fewer the °D (A versus C). From Wilson and Barnett (1983).

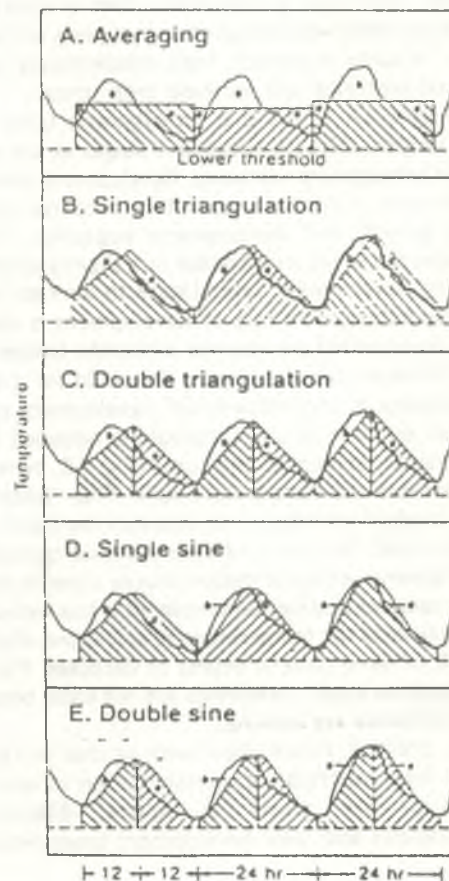


Fig. 4. Five linear methods for calculating °D accumulation, from the simplest (A) to the most complicated (E). From Wilson and Barnett (1983).



represented by  $b$ , which is underestimated by this method, is balanced by the overestimate of  $a$ . Minimum temperatures below the lower threshold or unusually high maximum temperatures will result in error.

Many hand calculators can easily be programmed so that the averaging calculation can be made simply by entering the low and high temperatures for the day and the lower developmental threshold for the organism.

### Triangulation

Figures 4B and 4C illustrate the two triangulation methods. The single triangulation method (Fig. 4B) uses a day's low and high temperatures to produce an equilateral triangle over a 24-hour period; degree days are then estimated by calculating the area between the two thresholds that is enclosed by the triangle. Using a 12-hour or half-day calculation (Sevacherian, Stern, and Mueller, 1977), the double triangulation method (Fig. 4C) draws straight lines between minimum and maximum temperatures and calculates the area between thresholds that falls within the resulting triangle. Over a 24-hour period, the overestimated area  $a$  will be balanced by the underestimated area  $b$ . These methods give good estimates of heat units, and their equations are easy to use as well as adaptable to programmable calculators and microprocessors.

### Sine

Figure 4D illustrates the single sine curve method (Baskerville and Emin, 1969). This technique uses a day's low and high temperatures to produce a sine curve over a 24-hour period, and then estimates degree-days for that day by calculating the area above the threshold and below the curve. Again, the  $a$  areas balance the  $b$  areas, resulting in good degree-day estimates. The UC Integrated Pest Management (UC/IPM) computer network uses this method to calculate degree-days. It is a more complicated method, but can be adapted to hand calculators or microprocessors.

Figure 4E illustrates the double sine method (Allen, 1976). The only difference between this and the single sine method is that this fits a sine curve through the minimum temperature of the day and the maximum temperature of the day. It then fits separate sine curves through the maximum-temperature period of the day and the minimum-temperature of the next day. The double sine method more realistically follows the daily temperature cycle. Its calculation, however, is more complex, and would probably require the use of a microprocessor.

### Precalculated tables

Precalculated tables using any degree-day method can be constructed where the low for the day is charted across the top and the high down the side. Tables presented in UC Integrated Pest Management Manuals<sup>1</sup> or generated from the

UC/IPM computer use the single sine method. To find the degree-days accumulated for a day, the user locates the appropriate high and low temperatures and follows the column and row until the two intersect (Table 2). Different tables must be used for species having different thresholds.

**Table 2. A portion of a degree-day table indicating the number of degree-days (19) that had accumulated on a day when the maximum temperature was 94 and the minimum temperature was 44.**

Maximum temperature (°F)	Minimum temperature (°F)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
118	20	21	21	21	22	22	23	23	24
116	20	20	21	21	22	22	23	23	24
114	20	20	21	21	21	22	22	23	23
112	20	20	20	21	21	22	22	22	23
110	19	20	20	20	21	21	22	22	23
108	19	19	20	20	20	21	21	22	22
106	19	19	19	20	20	21	21	22	22
104	18	19	19	19	20	20	21	21	22
102	18	18	19	19	19	20	20	21	21
100	18	18	18	19	19	19	20	20	21
98	17	17	18	18	19	19	19	20	21
96	17	17	17	18	18	19	19	20	20
94	16	16	17	17	18	18	18	19	20
92	16	16	16	17	17	17	18	18	19
90	15	15	16	16	16	17	17	18	18
88	14	14	15	15	16	16	16	17	18

### Formulas

Six possible relationships can exist between the daily temperature cycle and the upper and lower developmental thresholds. The temperature cycle can be: 1) completely above both thresholds, 2) completely below both thresholds, 3) entirely between both thresholds, 4) intercepted by the lower threshold, 5) intercepted by the upper threshold, or 6) intercepted by both thresholds. When degree-day approximations are calculated, different equations are required to compute degree-days for each case. The relationships among maximum and minimum temperatures and the developmental thresholds are used to select the proper equation. Tables 3, 4, 5, and 6 provide equations for each of the six possible cases, using single triangulation, double triangulation, single sine, and double sine methods, respectively. Test data for computer validation of each of these equations are presented in Table 7.

Degree-days may also be calculated using hourly temperatures by determining the number of degrees that fall between the maximum and minimum developmental thresholds each hour, summing the values for a day, and dividing the total by 24. The hourly method more realistically approximates the actual amount of heat accumulated during a day than is possible using daily maximum and minimum

<sup>1</sup>UC Integrated Pest Management Manuals, published by Agricultural Sciences Publications, are available for biological and chemical control of pests in field crops, fruits and nuts, vegetables and livestock. See ordering information at the end of this publication.

Table 3. Formulas for calculating degree-days by the single triangulation method. Accumulated degree-days are shaded areas of diagrams.

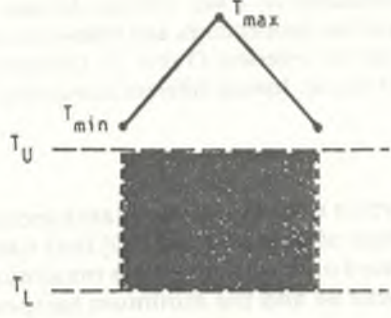
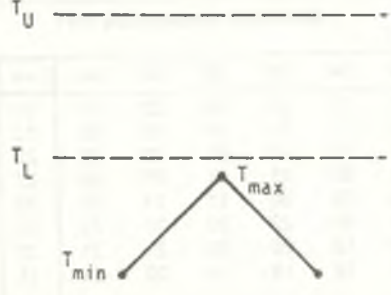



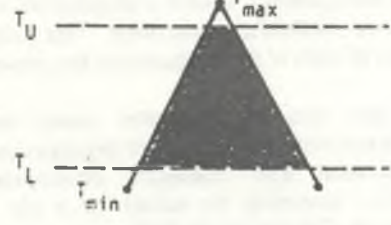
<p>1.</p> 	$^{\circ}\text{D} = T_U - T_L$	<p><math>T_U</math> = Upper threshold  <math>T_L</math> = Lower threshold  <math>T_{\text{max}}</math> = Maximum temperature  <math>T_{\text{min}}</math> = Minimum temperature</p>
<p>2.</p> 	$^{\circ}\text{D} = 0$	
<p>3.</p> 	$^{\circ}\text{D} = \frac{6(T_{\text{max}} + T_{\text{min}} - 2T_L)}{12}$	
<p>4.</p> 	$^{\circ}\text{D} = \frac{6(T_{\text{max}} - T_L)^2}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} + 12$	
<p>5.</p> 	$^{\circ}\text{D} = \frac{6(T_{\text{max}} + T_{\text{min}} - 2T_L)}{12} - \left[ \frac{6(T_{\text{max}} - T_U)^2}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} + 12 \right]$	
<p>6.</p> 	$^{\circ}\text{D} = \left[ \frac{6(T_{\text{max}} - T_L)^2}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} - \frac{6(T_{\text{max}} - T_U)^2}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} \right] + 12$	

Figure 4. Half-day formulas for calculating degree-days by the double triangulation method. Accumulated degree-days are shaded areas of diagrams.

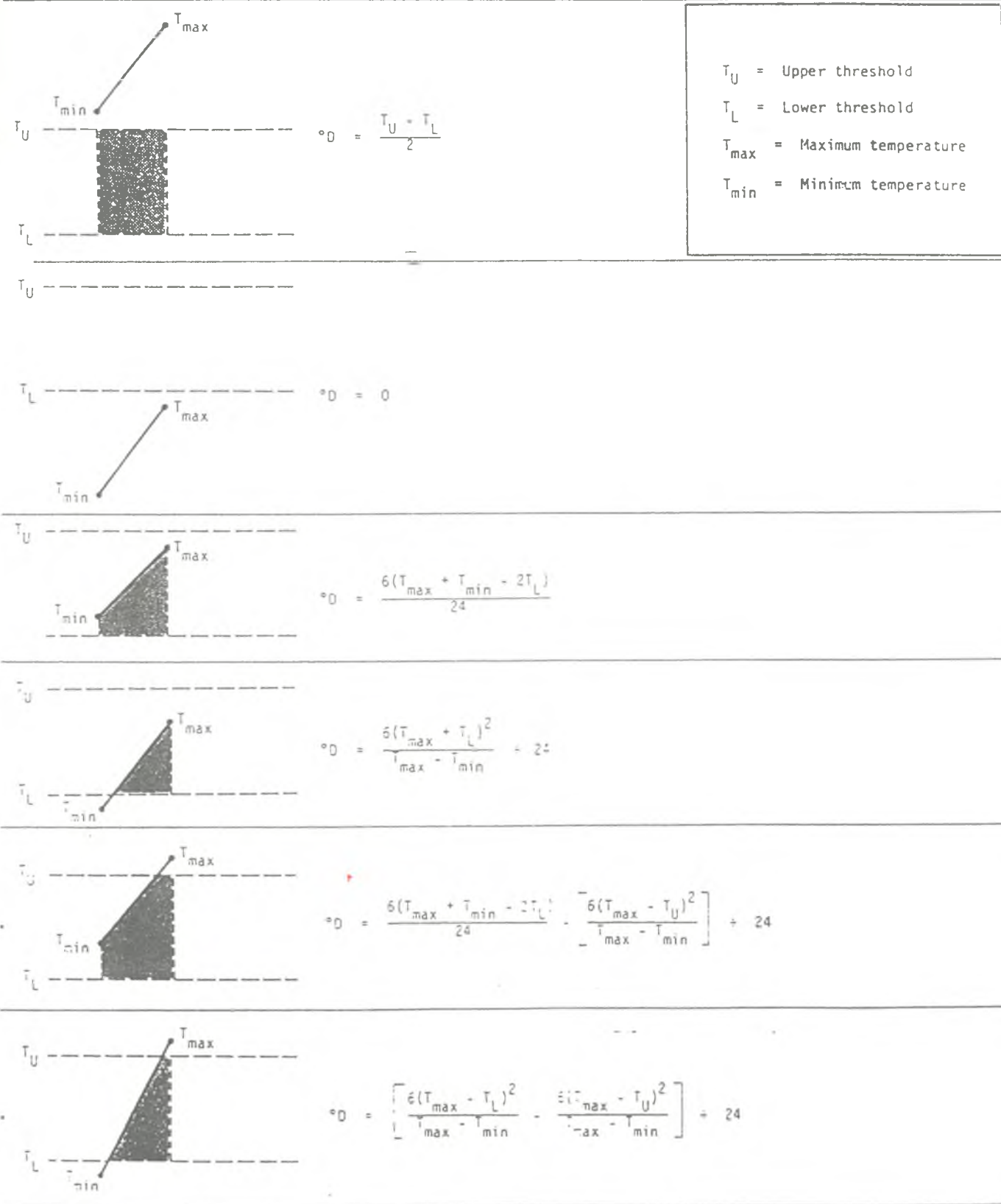




Table 5. Formulas for calculating degree-days by the single sine method. Accumulated degree-days are shaded areas of diagrams.

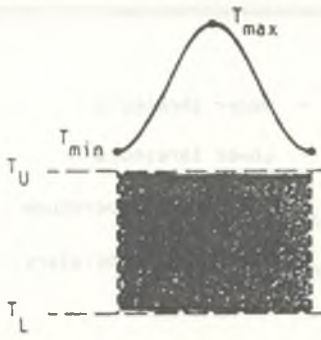
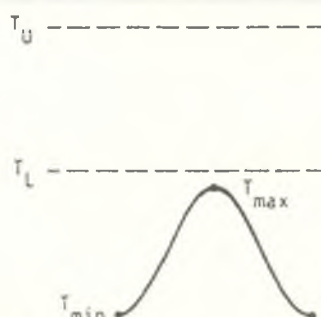
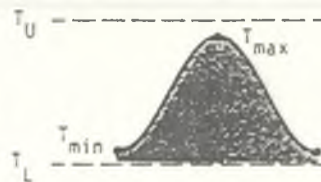
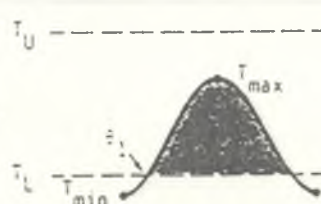
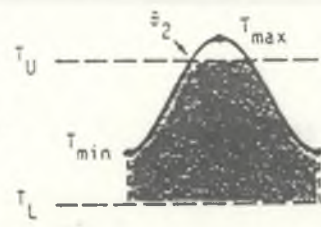
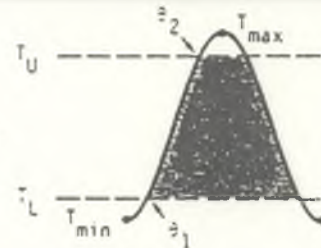
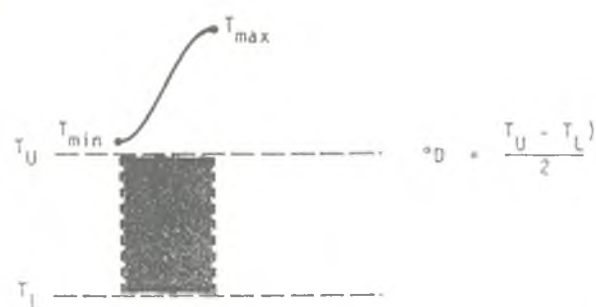
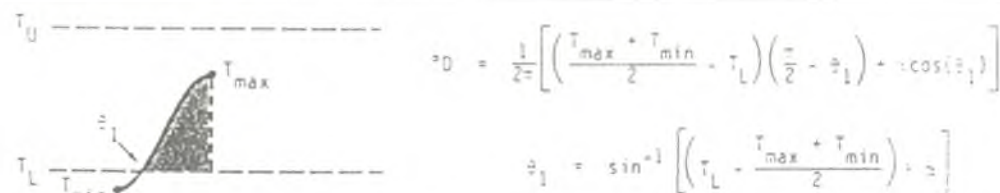
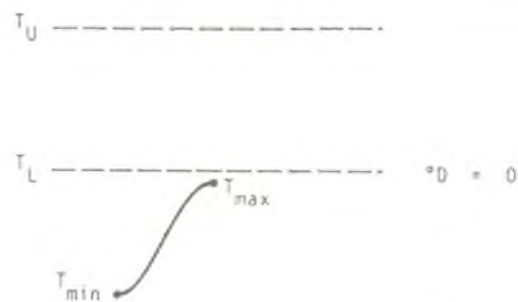
<p>1. </p>	$^{\circ}\text{D} = T_U - T_L$	<p> <math>T_U</math> = Upper threshold  <math>T_L</math> = Lower threshold  <math>T_{\max}</math> = Maximum temperature  <math>T_{\min}</math> = Minimum temperature  <math display="block">\alpha = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2}</math> </p>
<p>2. </p>	$^{\circ}\text{D} = 0$	
<p>3. </p>	$^{\circ}\text{D} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_L$	
<p>4. </p>	$^{\circ}\text{D} = \frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_L \right) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_1 \right) + \alpha \cos(\theta_1) \right]$ $\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \div \alpha \right]$	
<p>5. </p>	$^{\circ}\text{D} = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_L \right) \left( \theta_2 + \frac{\pi}{2} \right) + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) - \left[ \alpha \cos \theta_2 \right] \right\}$ $\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \div \alpha \right]$	
<p>6. </p>	$^{\circ}\text{D} = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_L \right) (\theta_2 - \theta_1) + \alpha [\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)] + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) \right\}$ $\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \div \alpha \right]$ $\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \div \alpha \right]$	



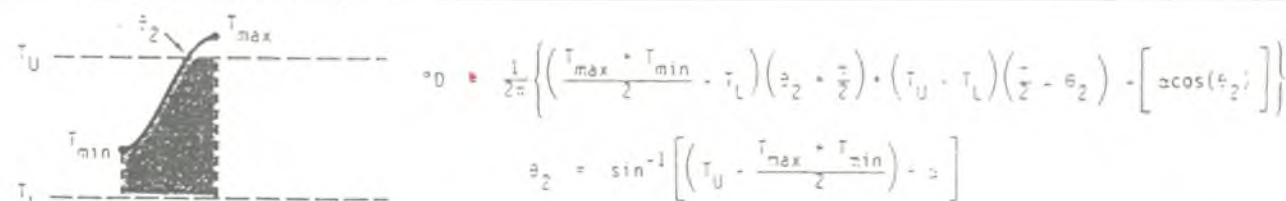
Figure 6. Half-day formulas for calculating degree-days by the double sine method. Accumulated degree-days are shaded areas of diagrams.



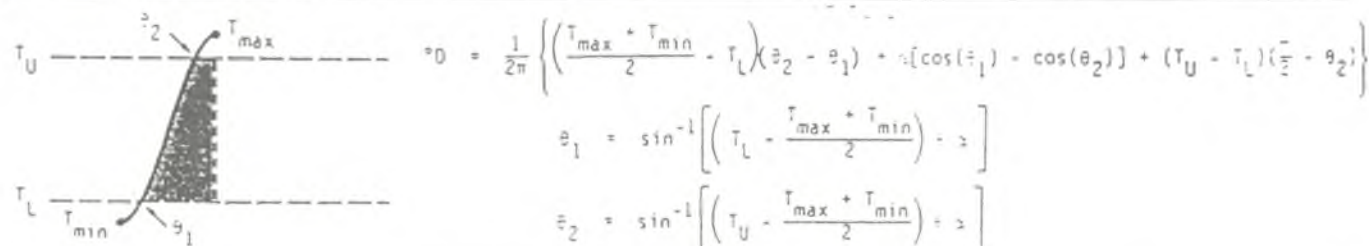
$T_U$  = Upper threshold  
 $T_L$  = Lower threshold  
 $T_{max}$  = Maximum temperature  
 $T_{min}$  = Minimum temperature  
 $\alpha = \frac{T_{max} - T_{min_1}}{2}$ , 1st half day  
 $\alpha = \frac{T_{max} - T_{min_2}}{2}$ , 2nd half day



$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) / a \right]$$



$$\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) / a \right]$$



$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) / a \right]$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) / a \right]$$

temperatures alone. Utilization of hourly temperatures requires more sophisticated temperature recording devices and more time to transcribe the data from these instruments. Biophenometers available commercially will automatically integrate temperatures throughout the day for different developmental thresholds and then provide an approximation of degree-days. The utility of these instruments is generally limited, though, since they do not provide a record of temperatures or daily degree-day values. Such records could prove invaluable historically and could be used to check the accuracy of weather events recorded by the instrument. Individuals utilizing degree-days based on hourly values should be aware that most developmental information available for different organisms has been generated using one of the daily maximum/minimum approximations, and so incorporates the bias of that particular method. In some cases hourly values may be too accurate for our present knowledge of an organism's development.

#### Comparing degree-day calculations

The five linear methods and the hourly method were compared using a standard data set for each of the six possible combinations of minimum and maximum temperatures (Table 8). The thresholds were 55°F and 90°F, and degree-days were calculated for a 14-day period.

Five of the methods accumulated degree-days nearly identically. The exception was the averaging method in cases in which temperatures significantly exceeded the upper threshold or descended below the lower threshold.

In general, the five methods were within 2 percent of one another. This error level is acceptable, falling as it does within the limits of error of most recording thermographs. In situations where daily temperatures fall entirely between developmental thresholds, any of the methods of degree-day calculation would be adequate. An excellent comparison of methods with specific attention to the cotton crop system was made by Fry (1983).

#### Using degree-days

Because each species requires a defined number of degree-days to complete its development, we are interested in knowing the accumulated degree-days from a starting date. The date to begin accumulating degree-days, known as the biofix, varies with the species. Biofix points are usually based on specific biological events such as planting dates, first trap catch, and first occurrence of a pest.

Population and development models that incorporate developmental thresholds and development rates based on degree-days can help growers and pest control advisors to pinpoint biological events. This results in better pest control

Table 7. Temperature data and degree-day values. These values for each case and method can be used in validation of calculations. Developmental thresholds used in this example are 55°F (minimum) and 90°F (maximum).

Case	Min. temp.	Max. temp.	Min. temp.	Triangulation		Sine	
				Single	Double	Single	Double
1	96	110	91	35	35	35	35
1	91	105	96	35	35	35	35
2	45	54	38	0	0	0	0
2	38	50	45	0	0	0	0
3	60	80	75	15.00	18.75	15.00	18.75
3	75	88	60	26.50	22.75	26.50	22.75
4	50	82	45	11.39	10.62	11.85	11.31
4	45	70	50	4.50	5.06	5.31	5.70
5	60	100	75	23.75	24.88	22.82	26.26
5	75	95	60	29.38	25.76	28.91	25.30
6	50	101	48	19.56	19.19	18.95	18.69
6	48	95	50	16.76	17.13	16.90	17.23

Table 8. Comparison of methods of calculating degree-days. Developmental thresholds used in this example are 55°F (minimum) and 90°F (maximum).

Case	Hourly	Averaging	Triangulation		Sine	
			Single	Double	Single	Double
1	490	637	490	490	490	490
2	0	0	0	0	0	0
3	190	201	202	202	202	202
4	58	20	65	54	64	53
5	317	313	306	312	306	312
6	83	84	86	85	86	86

and crop management decisions. Table 9 lists several organisms for which degree-day-based models have been developed. Some of these models are very simple, providing information on the timing of such events as overwintering emergence and subsequent population build-up. In these models the life cycles of the organisms are measured in physiological time instead of calendar time, as discussed earlier. Therefore, the time between any two points of an organism's development can be discussed in terms of degree-days.

Using degree-days to predict an organism's development makes it possible to minimize conflicts between cultural and pest control operations such as irrigating and applying a pesticide.

Degree-days can tell growers and pest control advisors where they stand in relation to the development of a generation of pests so that they can time pesticide applications more efficiently. This often results in reduced costs and damage from those pests. For example, pheromone traps might indicate an increase in the number of adults of a pest species. The accumulated degree-days would indicate whether this were a real or false peak. For a false peak, treatment could be delayed until the actual beginning of the next pest generation, avoiding unnecessary pesticide applications.

Degree-days can also be used to determine when to do extensive sampling, limiting such activities to times when the pests are present.

## The future

Degree-days provide a valuable tool to pest management. Predicting pest occurrence, scheduling pest management actions, and monitoring pest activity are important examples of their uses. As pest data are more frequently collected in conjunction with degree-day data, our ability to quantify pest biology and its relationship to crop yield will greatly improve.

## Literature cited

- ALLEN, J. C.  
1976. Modified sine wave method for calculating degree-days. *Environmental Entomology* 5:388-96.
- BASKERVILLE, C. L., and P. EMIN  
1969. Rapid estimations of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50:514-17.
- FRY, K. E.  
1983. Heat-unit calculations in cotton crop and insect models. USDA/ARS Advances in Agricultural Technology AAT-W-23.
- SEVACHERIAN, V., V. M. STERN, and A. J. MUELLER  
1977. Heat accumulation for timing *Lygus* control pressures in a safflower-cotton complex. *Journal of Economic Entomology* 70:399-402.
- WILSON, L. T., and W. W. BARNETT  
1983. Degree-days: an aid in crop and pest management. *California Agriculture* 37(1-2):4-7.

Table 9. Developmental thresholds (°F) and physiological generation times for selected pests

Organism	Developmental thresholds		Degree-days per generation	Data source
	Lower	Upper		
California red scale	53°	95°	1,030	1978. Pear Pest Management. UC Div. of Agric. Sci. Publ. 4086. 1982. Integrated Pest Management for Walnuts. UC Div. of Agric. Sci. Publ. 3270. 1983. <i>California Agriculture</i> . 37 (1-2): 4-7.
Codling moth	52°	94°	1,085	
Cotton bollworm	57°	94°	968	1981. Integrated Pest Management for Alfalfa. UC Div. of Agric. Sci. Publ. 4104 1977. <i>Canadian Entomologist</i> . 109:1375-86. 1982. <i>California Agriculture</i> . 36 (1):11-12. 1982. UC Div. of Agric. Sci. Leaf. 21302. 1982. UC Div. of Agric. Sci. Leaf. 21312.
Cotton root knot nematode	50°	—*	500	
Egyptian alfalfa weevil	45°	—*	600	
Lygus bug	52°	—*	1,000	
Oriental fruit moth	45°	90°	963	
Peach twig borer	50°	88°	1,060	
San Jose scale	51°	90°	1,050	
Walnut aphid	41.4°	—*	572	

\*No upper developmental thresholds have been defined for these pests.